



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - SF 141501

**Pelapisan Alumina Pada Baja Karbon untuk
Meningkatkan Panas Jenis Sebagai Material Tungku
Pemanas Karbon Konduktif**

**MERYDA UCINIRVANI
NRP 1113 100 085**

**Dosen Pembimbing
Dr. Moch. Zainuri, M.Si.**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**Pelapisan Alumina Pada Baja Karbon untuk
Meningkatkan Panas Jenis Sebagai Material Tungku
Pemanas Karbon Konduktif**

**MERYDA UCINIRVANI
NRP 1113 100 085**

**Dosen Pembimbing
Dr. Moch. Zainuri, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



Alumina Coating on Carbon Steel to Increase Specific Heat as Carbonn Conductive Heat Material of Oven

MERYDA UCINIRVANI
NRP 1113 100 085

Advisor
Dr. Moch. Zainuri, M.Si

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**PELAPISAN ALUMINA PADA BAJA KARBON
UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS PANAS
JENIS SEBAGAI MATERIAL TUNGKU PEMANAS
KARBON KONDUKTIF**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**


Oleh:

**MERYDA UCINTRVANI
NRP 1113100085**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

**Dr. Moch. Zainuri, M.Si
NIP. 19640130 199002 1001**




(.....)

PELAPISAN ALUMINA PADA BAJA KARBON UNTUK MENINGKATKAN PANAS JENIS SEBAGAI MATERIAL TUNGKU PEMANAS KARBON KONDUKTIF

Nama : Meryda Ucinirvani
NRP : 1113100085
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. Moch. Zainuri, M.Si

Abstrak

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan metoda pelapisan alumina Al_2O_3 pada sampel baja karbon dengan proses quenching. Proses quenching diawali dengan pemanasan sampel baja karbon sampai dengan suhu 1035°C , kemudian secara mendadak didinginkan dengan media $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) dengan perbandingan volume 3:1. Proses ditindaklanjuti dengan proses annealing sampel dengan variasi waktu penahanan. Karakterisasi struktur pada sampel baja tersebut dilakukan dengan XRD (X-Ray Diffractometer). Karakterisasi sifat mekanik diperoleh dengan uji kekerasan vickers. Karakterisasi kemampuan termal berupa panas jenis sampel. Kalorimeter digunakan untuk mengetahui nilai panas jenis sampel. Sampel dengan waktu penahanan annealing 2 jam memiliki fasa Al_2O_3 sebanyak 26,57%w, Fe_3C sebanyak 48,49%w, Fe_3O_4 sebanyak 12,96%w dan FeO sebanyak 12,26%w. Fasa-fasa ini diperoleh melalui pengukuran XRD (X-Ray Diffractometer). Sampel ini memiliki karakteristik kekerasan vickers yang terbaik dan karakteristik termal panas jenis yang terbaik pula. Karakterisasi vickers sampel memiliki nilai 371,89 HV dari nilai vickers sampel sebelum dilapisi alumina sebesar 156,1 HV. Karakteristik termal berupa panas jenis sampel sebesar 0,704 J/gram K dari nilai panas jenis sampel sebelum dilapisi alumina sebesar 0,432 J/gram K.

***Kata kunci :Alumina Al_2O_3 , annealing, kalorimeter,
pendinginan mendadak, panas jenis.***

ALUMINA COATING ON CARBON STEEL TO INCREASE SPECIFIC HEAT AS CARBON CONDUCTIVE HEAT MATERIAL OF OVEN

Name : Meryda Ucinirvani
NRP : 1113100085
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Moch. Zainuri, M.Si

Abstract

In this research, alumina Al_2O_3 coating method has been applied to carbon steel sample with quenching process. The quenching process begins with heating of carbon steel samples up to $1035^{\circ}C$, then suddenly cooled with $Al(OH)_3$ medium dissolved in molasses $C_{12}H_{22}O_{11}$ with a 3: 1 volume ratio. The process is followed up by annealing the sample process with variation of hold time. Structural characterization of the steel sample was done by XRD (X-Ray Diffractometer). Characterization of mechanical properties was obtained by vickers hardness test. Characterization of thermal capability in the form of sample heat. The calorimeter is used to determine the heat value of the sample. Samples with 2 hours of annealing holding time had 26.57% w, 48.49% w $3C$ Fe_3C , Fe_3O_4 12.96% w and FeO 12.26% w. These phases are obtained by measuring XRD (X-Ray Diffractometer). This sample has the best vickers hardness characteristics and the best thermal characteristics of the type. Characterization of vickers samples has a value of 371.89 HV. The thermal characteristics of specific heat is $0.88J / K$.

Keyword : Alumina Al_2O_3 , annealing, quenching, specific heat

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kami dari kebodohan menuju cahaya kebenaran. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul :

“Pelapisan Alumina Pada Baja Karbon untuk Meningkatkan Panas Jenis Sebagai Material Tungku Pemanas Karbon Konduktif”

Penulis mempersembahkan Karya Tulis ini kepada anak ku Hayu Ulugh Beg dan seluruh generasi penerus bangsa. Semoga karya tulis ini akan menjadi pemicu untuk menciptakan karya-karya yang berguna bagi seluruh umat, bangsa dan negara. Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Muhtadi dan Ibu Tarwati yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis, terutama doa restunya.
2. Adik tercinta Dicoprilla M.S yang selalu menghibur penulis.
3. Keluarga kecilku, twins kriting (Bapak Heru Tjahyono dan Ananda Hayu Ulugh Beg) yang mengisi hari-hari penulis dengan keunikan pribadi masing-masing.
4. Keluarga besarku (ibu mertua, mbah putri, bu dhe dan pak dhe).
5. Bapak Dr.Moch. Zainuri M.Si sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman, bimbingan,

wawasan, dan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. PT.Kharisma khususnya Pabrik Semen Konduktif yang telah memberikan ide untuk Tugas Akhir penulis.
7. Segenap petugas Laboratorium Fisika Dasar yang telah membantu penulis dalam pengambilan data sehingga berjalan dengan lancar.
8. Bapak Sukir yang telah membuatkan saya alat percobaan sehingga penulis dapat melakukan percobaan di rumah
9. Bapak Sholeh dan Bapak Slamet yang senantiasa membantu dalam peminjaman laboratorium dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir.
10. Teman-teman (Mba Fitriana 2011, Vinda Z.Z, Puji Kumala Pertiwi, Cahyaning Fajar Kresna M., Halida Rahmi Luthfiyanti dan Fahru Mareta) yang telah membantu penulis dalam pengambilan data pada penelitian ini.
11. Bapak Prof. Darminto sebagai dosen wali yang selalu memberikan bimbingan dan arahan yang membangun bagi penulis.
12. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng. dan Bapak Eko Minarto selaku Ketua Jurusan dan Wakil Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
13. Bapak Prof. Drs. Suminar Pratapa, Ph.D yang telah memberikan pemahaman mengenai *software Match* dan *Rietica*.
14. Teman-teman terdekat Pambayun Purbandini, Nisrina Ikbar, Wafa Faziatus, Eka Yuliana, yang selalu membantu penulis selama masa perkuliahan.
15. Alfa Dinar Calissta yang sering menemani penulis sarapan pagi di nasi uduk “Uni” selama masa perkuliahan. Afyra Chairunnisa yang tidak bisa didefinisikan. Hadayatul Rizkiyati yang selalu mengajari penulis tentang fiskom. Irasani Rahayu yang telah menutori beberapa mata kuliah selama masa perkuliahan penulis.

16. Kepada keluarga Fisika ITS 2013 (Supernova) yang telah menemani perjalanan penulis selama menjalani studi di Fisika FMIPA ITS.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Amiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, 23 Juni 2017

Penulis
Meryda Ucinirvani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Alumina Al_2O_3	5
2.2 Aluminium hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$	6
2.3 Tawas	6
2.4 Molases	7
2.5 NaOH	7

2.6 Baja Karbon	8
2.7 Pelapisan	9
2.8 Heat tretment	9
2.8.1 Annealing.....	10
2.8.2 Quenching	10
2.9 Pengukuran Kapasitas Panas	11
2.10 Kalorimeter	12
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Bahan dan Peralatan	15
3.1.1 Bahan	15
3.1.2 Peralatan	15
3.2 Prosedur Penelitian.....	16
3.2.1 Persiapan Substrat.....	16
3.2.2 Persiapan Media Quenching	16
3.2.3 Proses Pelapisan	17
3.2.4 Waktu Penahanan Proses Annealing	17
3.2.5 Menentukan Nilai Kapasitas Panas	18
3.3 Karakterisasi Sampel.....	19
3.3.1 Sifat Kekerasan	19
3.3.2 Struktur Permukaan	20
3.3.3 Interpretasi Data Kalorimeter	20
3.4 Parameter Pelapisan Baja Karbon	22
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	22
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengaruh Variabel Media Pendingin terhadap Fasa pada Permukaan Baja Karbon	27
4.1.1 Media quenching tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	28
4.1.2 Media quenching molasses $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	31
4.1.3 Media quenching $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	34
4.2 Pengaruh Waktu Penahanan Annealing terhadap Fasa pada Permukaan Baja Karbon.....	40
4.3 Keterkaitan Medial Quenching terhadap Kapasitas Panas	

Jenis	45
4.3.1 Pengukuran kapasitas panas Kalorimeter	45
4.3.1.1 Perpindahan panas kalorimeter.....	46
4.3.1.2 Perpindahan panas kalorimete berisi sampel B	47
4.3.1.3 Perpindahan panas kalorimeter berisi sampel A12	48
4.3.1.4 Perpindahan panas kalorimeter berisi sampel M2	49
4.3.1.5 Perpindahan panas kalorimeter berisi sampel T2	49
4.3.2 Persamaan umum kapasitas panas	50
BAB V KESIMPULAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63
BIOGRAFI PENULIS	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Mechanical properties of selected advanced ceramics* 5

Tabel 2.2 Sifat fisika NAOH8

Tabel 3.1 Persamaan Persamaan kalor sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K) berdasarkan hasil pengukuran kalorimeter21

Tabel 3.2 Parameter pelapisan baja karbon22

Tabel 4.1 Persen berat dari fasa yang terbentuk pada annealing sampel Al.....40

Tabel 4.2 Persen berat dari fasa yang terbentuk pada sampel M245

Tabel 4.3 Persen berat dari fasa yang terbentuk pada sampel T245

Tabel 4.4 Persamaan kalor sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K) berdasarkan hasil pengukuran kalorimeter51

Tabel 4.5 Persamaan kalor sampel sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K).....52

Tabel 4.6 Persamaan kapasitas panas sampel sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K).....53

Tabel 4.7 Massa sampel percobaan55

Tabel 4.8 Nilai panas jenis pada suhu 25°C (298K) berdasarkan pengukuran dan referensi56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Annealing.....	10
Gambar 2.2 Efek kenaikan Temperatur pada sifat mekanik material	11
Gambar 3.1 Rangkaian pengukuran kapasitas panas dengan kalorimeter	19
Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan $\text{Al}(\text{OH})_3$	23
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian pelapisan Alumina pada baja karbon untuk meningkatkan panas jenis	24
Gambar 4.1 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel T2.....	28
Gambar 4.2 Sampel (a) B (b)T2.	29
Gambar 4.3 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel B dan T2.	30
Gambar 4.4 Pasta molasses.....	30
Gambar 4.5 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel M2.....	31
Gambar 4.6 Sampel (a) B (b) M2	32
Gambar 4.7 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel B dan M2	33
Gambar 4.8 Larutan(a) $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan (b)molasses.....	33
Gambar 4.9 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel Al ₂	34

Gambar 4.10 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel B dan Al ₂	36
Gambar 4.11 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel Al1	37
Gambar 4.12 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel Al3	37
Gambar 4.13 Hasil XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) sampel Al4	38
Gambar 4.14 Perbandingan antara waktu tahan proses annealing dengan persen berat fasa Al ₂ O ₃	40
Gambar 4.15 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan persen berat fasa Fe ₃ O ₄	40
Gambar 4.16 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan nilai kekerasan sampel Al.....	41
Gambar 4.17 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan nilai kekerasan sampel Al.....	42
Gambar 4.18 Grafik nilai kekerasan terhadap waktu penahanan proses annealing dengan nilai kekerasan sampel M.....	42
Gambar 4.19. Grafik pengukuran termal kalorimeter.....	44
Gambar 4.20 Grafik pengukuran termal kalorimeter berisi sampel B	45
Gambar 4.21 Grafik pengukuran termal kalorimeter berisi sampel Al ₂	46
Gambar 4.22 Grafik pengukuran panas kalorimeter berisi sampel M2	47

Gambar 4.23 Grafik pengukuran termal kalorimeter berisi sampel T2	48
Gambar 4.24 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel B ..	51
Gambar 4.25 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel A1.	52
Gambar 4.26 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel M2	52
Gambar 4.27 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel T2	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.....	63
------------------------	-----------

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang terkait dengan material konduktif, material *electrical grounding* khususnya sangat luas penerapannya dari teknologi rumah tangga sampai dengan teknologi industri. Hal tersebut dikarenakan penerapan material *grounding* sangat penting untuk menghindari kerusakan-kerusakan pada peralatan elektronik maupun instalasi listrik. Material *grounding* pada umumnya dibuat dari bahan komposit konduktif merupakan gabungan dari bahan matrik beton dan bahan konduktif berbasis material organik. Pembuatan bahan konduktif berbasis bahan organik pada umumnya memerlukan tungku dengan temperatur di atas 1000°C. Tungku yang berbasis baja tidak mungkin dapat digunakan sebagai tungku karena temperaturnya mendekati temperatur lelehnya. Ketersediaan baja atau besi karbon sangat mudah untuk diperoleh dipasaran bebas, tetapi saat digunakan dalam pembuatan tungku sebagai pembuatan bahan organik konduktif hal itu tidak mungkin dilakukan, karena temperaturnya disekitar operasional temperatur baja. Bahan baja dapat ditingkatkan *melting point*nya dengan cara dilakukan pelapisan pada permukaan tungku berbasis baja dengan bahan alumina atau proses karbonisasi melalui mekanisme quenching pada media tawas dan molases. Proses pelapisan permukaan baja dengan bahan alumina atau peningkatan kandungan karbonnya akan mampu meningkatkan kemampuan pemanasan tungku di atas temperatur leleh baja. Pada penelitian ini dilakukan pencelupan pada beberapa media pembentukan alumina dan karbonisasi, serta variasi temperatur waktu tahan *annealing*, sehingga diharapkan variasi tersebut dapat mempengaruhi kualitatif dan kuantitatif lapisan yang terbentuk pada permukaan baja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana cara melapisi baja dengan alumina atau bahan-bahan karbon.
2. Mengidentifikasi permukaan lapisan baja terhadap variasi penahanan waktu pemanasan.
3. Mengidentifikasi sifat mekanik, struktur dan panas jenis setelah dilapisi dengan alumina dan karbon.
4. Mengidentifikasi sifat termal baja berlapis alumina.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Tawas yang digunakan berbentuk bongkahan.
2. NaOH pada penelitian ini merupakan NaOH teknis (bukan PA).
3. Molases yang digunakan merupakan molases yang tersedia di pasaran.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melapisi baja dengan bahan alumina.
2. Meningkatkan panas jenis baja.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang strategi untuk meningkatkan nilai kapasitas panas jenis suatu material, serta diharapkan dapat diaplikasikan sebagai material refraktori suatu industri.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian,

batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian. Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, serta Bab V berupa kesimpulan dan saran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alumina Al_2O_3

Alumina Al_2O_3 digunakan sebagai penyusun lelehan metal atau diaplikasikan pada material yang harus dioperasikan pada temperatur tinggi dengan kekuatan yang besar. Beberapa proses metal menggunakan alumina sebagai refraktori. Alumina dapat digunakan sebagai pengokoh sifat material ataupun sifat struktur suatu material komposit. Hal tersebut didasari atas sifat melting point, *thermal expansion coefficient* dan knop hardness suatu material. Nilai melting point alumina yaitu 2000°C , nilai thermal expansion coefficient yaitu $\sim 6,8 \times 10^{-6}$ per $^\circ\text{C}$ dan nilai knop hardness (100g) yaitu 2100. (Donald, 2010)

Tabel 2.1 *Mechanical properties of selected advanced ceramics* (Donald, 2010)

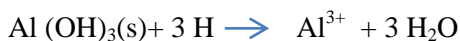
Material	Density(g/cm3)	Compressive Strength (psi)
Al_2O_3	3,98	400,000
SiC(sintered)	3,1	560,000
Si_3N_4 (reaction bonded)	2,5	150,000
Si_3N_4 (hot pressed)	3,2	500,000
Sialon	3,24	500,000
ZrO_2 (partially stabilized)	5,8	270,000
ZrO_2 (transformation toughened)	5,8	250,000

Gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan boehmite AlOOH adalah prekursor yang paling sering digunakan untuk persiapan Al_2O_3 . Selama perlakuan panas, aluminium hidroksida mengalami transisi menjadi alumina

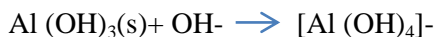
dalam bentuk metastabil struktur Al_2O_3 thermodynamic fase stabil. Boehmite berubah menjadi Al_2O_3 alumina di bawah temperature 500°C - 550°C dengan air yang direduksi. Transformasi fase Al_2O_3 monoclinic ($d = 3,56 \text{ g cm}^{-3}$) ke Al_2O_3 hexagonal fase ($d = 3,98 \text{ g cm}^{-3}$) disertai dengan penurunan volume sekitar 10% menyebabkan peningkatan kepadatan. Transformasi Al_2O_3 alumina pada temperature range 1050°C - 1200°C . Transformasi ini terjadi melalui anucleation dan mekanisme pertumbuhan butir (Samir, 2016).

2.2 Aluminium Hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$

Aluminium hidroksida merupakan senyawa amfoter, yaitu mampu melangsungkan reaksi netralisasi baik dengan asam maupun basa. Reaksi netralisasi aluminium hidroksida dengan asam:



Reaksi netralisasi aluminium hidroksida dengan basa:



(Svehla, 1979).

Pada penelitian ini digunakan tawas dan NaOH untuk membentuk larutan aluminium hidroksida.

2.3 Tawas

Tawas adalah kelompok garam rangkap berhidrat berupa kristal dan bersifat isomorf. Tawas lebih dikenal sebagai koagulan di dalam pengolahan air maupun limbah. Karena sifat ekonomis, melimpah di pasaran, serta penyimpanan yang mudah, maka tawas menjadi bahan koagulan yang banyak digunakan oleh masyarakat luas. Sebagai koagulan alum sulfat sangat efektif untuk mengendapkan partikel yang melayang. Alum merupakan salah satu senyawa kimia yang terbuat dari molekul air dan dua

Natrium Hidroksida anhidrat berbentuk kristal berwarna putih. NaOH bersifat sangat korosif terhadap kulit. Istilah yang paling sering digunakan dalam industri yaitu soda kaustik. Soda kaustik apabila dilarutkan dalam air akan menimbulkan reaksi eksotermis.

Tabel 2.2 Sifat fisika NaOH (Azhary,2010)

NaOH	Nilai
Berat molekul	39,998 gr/mol
Spesific gravity	2,130
Titik leleh	318°C
Titik didih	1390°C
Kelarutan pada 20°C gr/100 gr air	299,6

2.6 Baja Karbon

Baja adalah paduan yang terdiri dari unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta unsur-unsur lain seperti mangan (Mn), silikon (Si), dan nikel (Ni), vanadium (V), molybdenum (Mo) yang bersifat minimum. Berdasarkan kandungan karbon, maka baja dibedakan menjadi:

1. Baja Karbon rendah (0,05% - 0,35% C)
2. Baja Karbon Menengah (0,35% - 0,50% C)
3. Baja Karbon Tinggi (0,50% - 1,7% C)

Kadar karbon akan mempengaruhi sifat mekanik baja. Baja dengan karbon rendah mempunyai nilai kekerasan yang rendah. Nilai tersebut berpengaruh terhadap keuletan baja saat ditempa. Peningkatan kadar karbon akan meningkatkan nilai kekerasan baja. Menurut Schonmetz (1985) terdapat 3 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

1. Ferit, yaitu besi murni (Fe) yang tersusun secara acak, rapat dan saling berdekatan. Ferit merupakan bagian baja yang paling lunak, sehingga ferit murni tidak cocok digunakan sebagai bahan dasar benda kerja yang menahan beban.

2. Karbid besi (Fe_3C), yaitu suatu senyawa kimia dengan struktur terpisah antara besi dengan karbon (sementit). Peningkatan kandungan karbon akan menambah kadar sementit. Sementit dalam baja merupakan unsur yang paling keras.

3. Perlit, merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel (Nevada,2011).

2.7 Pelapisan

Desain baja yang berfungsi untuk melindungi dari lingkungan dibagi menjadi tiga model yaitu paduan baja karbon, paduan baja Al dan paduan baja Si. Ketika memotong paduan baja Al, maka bentuk lapisan berupa Al-O. Hal ini menunjukkan bahwa baja mempunyai lapisan perekat bersifat pencegah keausan. Hal ini terjadi karena lapisan Al berinteraksi dengan lingkungan, sehingga melindungi baja dari sifat keausan (T.Aiso,2016).

Lapisan berstruktur nano berasal dari pelapis multilayer PVD di mana lapisan tunggal planar, ketebalan nanometer dan membentuk superlattice. Telah dilakukan percobaan sebelumnya oleh Arno Kopf tentang pelapisan TixAlyN pada beberapa alat dengan metode HR-CVD. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat pelapisan TixAlyN dengan struktur mikro yang unik dan struktur nano sebagai individu kristal yang dibuat oleh nanolamellae. (Arno Köpf,2016).

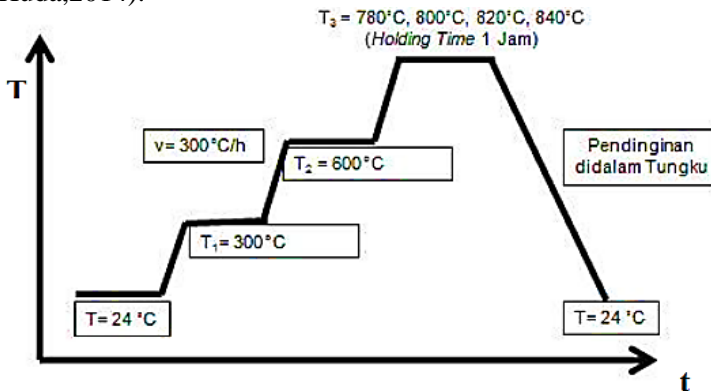
Bentuk lapisan permukaan pelapisan dapat diamati melalui uji SEM, TEM dan XRD.

2.8 Heat Treatment

Heat tretment adalah perlakuan panas yang diberikan terhadap material baja untuk meningkatkan sifat mekanik material tersebut. Beberapa teknik heat treatment yaitu proses *annaeling*, *normalizing*, *quenching* dan *spherodaizing*.

2.8.1 Annealing

Annealing adalah suatu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dilakukan terhadap logam atau paduan. Prinsip *annealing* adalah memanaskan baja sampai diatas temperatur kritis, kemudian dilakukan *holding time*, dan proses pendinginan didalam tungku dilakukan dengan lambat hingga temperatur kamar. Jenis *annealing* itu beraneka ragam, tergantung pada kondisi benda kerja, temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (*cooling rate*), dan lain sebagainya. Tujuan dari *heat treatment annealing* yaitu untuk memperbaiki keuletan dan *machineability*, menurunkan ketidak homogenan stuktur, memperhalus ukuran butir dan mengurangi tegangan sisa (Huda,2014).



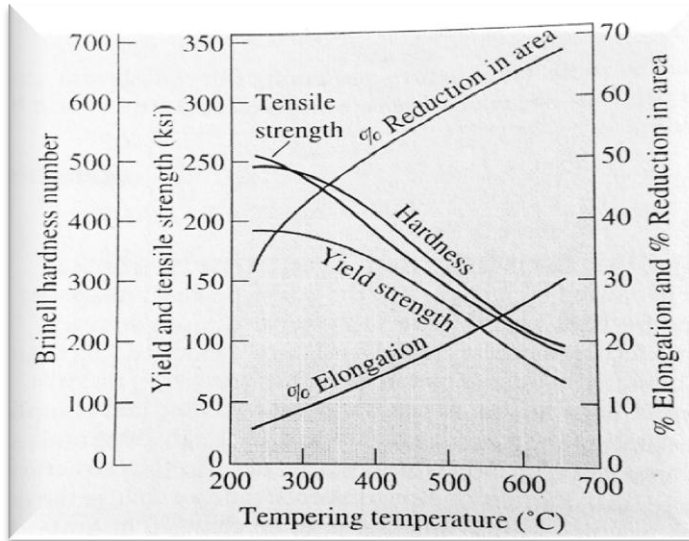
Gambar 2.1 Siklus Annealing (Huda,2014)

Hasil yang diperoleh dari proses ini berupa kehomogenan austenit, atau yang dikenal dengan istilah *austenizing annealing*. Ketika baja didinginkan perlahan di dalam furnace, maka akan terbentuk fase coarse perlite (Donald, 2010).

2.8.2 Quenching

Quenching merupakan teknik *heat treatment* untuk meningkatkan kekuatan baja melalui proses pendinginan mendadak pada material yang telah dipanaskan. Proses ini telah

diketahui sejak seribu tahun yang lalu. Pembuatan baja Damascus dan Samurai Jepang merupakan aplikasi dari proses quenching. Fase yang terbentuk pada proses ini yaitu martensit (Donald, 2010).



Gambar 2.2 Efek kenaikan Temperatur pada sifat mekanik material

2.9 Pengukuran Kapasitas Panas

Kapasitas panas adalah besaran terukur yang menggambarkan banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat (benda) sebesar jumlah tertentu (misalnya 1°C)(Halliday, 2010). Kapasitas panas dinyatakan dalam

$$Q = C\Delta T$$

Q adalah panas yang diterima atau dilepaskan. C adalah kapasitas panas. ΔT adalah perubahan temperatur.

2.10 Kalorimeter

Kalor didefinisikan sebagai energi panas yang dimiliki oleh suatu zat. Kalor yang dimiliki suatu zat dapat dideteksi dengan mengukur suhu benda tersebut. Jika suhunya tinggi maka kalor yang dikandung oleh benda sangat besar, jika suhunya rendah maka kalor yang dikandung sedikit. Alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor yang terlibat dalam suatu perubahan atau reaksi kimia disebut kalorimeter. Fungsi terpenting dari kalorimeter adalah dalam penentuan kalor jenis zat-zat.

Kalorimeter adalah alat untuk menentukan kalor jenis tipis yang dimasukkan dalam bejana tembaga yang lebih besar. Pada prinsipnya, antara bejana kecil (dinding dalam) dengan bejana besar (dinding luar) dibatasi oleh bahan yang tidak dapat dialiri kalor (adiabatic). Pengukuran kalor jenis dengan kalorimeter didasarkan pada asas Black, yaitu kalor yang diterima oleh kalorimeter sama dengan kalor yang diberikan oleh zat yang dicari kalor jenisnya. Hal ini mengandung pengertian jika dua benda yang berbeda suhunya saling bersentuhan, maka akan menuju kesetimbangan termodinamika. Suhu akhir kedua benda akan sama. (Saras, 2012)

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

$$Q_{air\ panas} = Q_{air\ dingin} + Q_{kalorimeter}$$

$$m_1 c (T_p - T_c) = m_2 c (T_c - T_d) + C(T_c - T_d)$$

(Saras, 2012)

keterangan :

m_1 : massa air panas

m_2 : massa air dingin

c : kalor jenis air (1 kal/gr °C)

C : kapasitas kalorimeter

T_p : suhu air panas

T_c : suhu air campuran

T_d : suhu air dingin

Nilai kapasitas panas dapat disajikan dalam persamaan polinomial yang disajikan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 kapasitas panas dalam fungsi suhu(Perry's Handbook)

Material	Kapasitas panas (cal/deg mol)	Interval suhu(K)
Al_2O_3	$22.08 + 0.008971T - 522500/T^2$	273–1973
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	63.5	273–373
Fe	$4.13 + 0.00638T$	273–1041
Fe_3C	$25.17 + 0.00223T$	273–1173
FeO	$12.62 + 0.001492T - 76200/T^2$	273–1173
Fe_3O	$41.17 + 0.01882T - 979500/T^2$	273–1065

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Berikut merupakan peralatan dan bahan yang digunakan serta cara kerja penelitian.

3.1 Bahan dan Peralatan

3.1.1 Bahan

- a. Substrat:
 - baja karbon ukuran $10 \times 10 \text{ cm}^2$.
- b. Media quenching:
 - air,
 - tawas bongkahan,
 - molasses,
 - $\text{Al}(\text{OH})_3$.
- c. Pengukuran kalorimeter:
 - aquades.

3.1.2 Peralatan

- a. Proses quenching:
 - tungku pande besi,
 - bejana logam media quenching,
 - pyrometer seri **Raynger**.
- b. Proses annealing:
 - furnace listrik.
- c. Uji vickers:
 - micro hardness tester.
- d. Pengujian fasa:
 - XRD(*X-Ray Diffractometer*).
- e. Uji panas jenis:
 - stopwatch,
 - neraca digital,
 - kalorimeter,
 - termometer,

- voltmeter,
- amperemeter,
- catu daya.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Persiapan Subtrat

Pelapisan dilakukan pada baja karbon berukuran 10 x 10 cm². Kemudian baja karbon dipolishing menggunakan kertas amplas. Hal ini bertujuan untuk membersihkan sampel dari debu/kotoran serta oksida yang muncul pada permukaan.

3.2.2 Persiapan Media Quenching

Media quenching yang digunakan pada penelitian ini meliputi tawas, molasses dan pencampuran antara molasses dengan Al(OH)₃.

a. Media Quenching Tawas

Tawas yang digunakan sebagai media quenching berupa larutan tawas. Proses pembuatan larutan tawas dilakukan dengan cara melarutkan tawas bongkahan menggunakan air. Larutan diaduk hingga jenuh (seluruh tawas terlarut dalam air). Sampel akan diberi identitas T apabila menggunakan media quenching 1(tawas).

b. Media Quenching Molasses

Molasses yang digunakan pada penelitian ini berupa tetes tebu. Molasses yang digunakan tidak dicampurkan dengan larutan apapun, sehingga molasses berbentuk pasta. Sampel akan diberi identitas M apabila menggunakan media quenching 2 (molasses).

c. Media Quenching Al(OH)₃ yang dilarutkan pada molasses(C₁₂H₂₂O₁₁)

Aluminum Hidroksida Al(OH)₃ dibuat dari tawas bongkahan yang dihaluskan dan dilarutkan dengan air hingga jenuh. Larutan tersebut dipanaskan dengan api kompor. Ketika mendidih larutan

ditambahkan larutan NaOH. Larutan diaduk sehingga tercampur merata. Kemudian larutan didinginkan dan disaring untuk mendapatkan pasta $\text{Al}(\text{OH})_3$. Pasta ini digunakan sebagai bahan campuran molasses untuk media quenching. Sampel akan diberi identitas Al apabila menggunakan media quenching 3 (pelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ ke dalam molasses).

3.2.3 Proses Pelapisan

Proses pelapisan dilakukan pada permukaan baja karbon. Setelah baja karbon melalui proses polishing, maka baja tersebut dipanaskan pada tungku pande besi. Kemudian substrat diquenching dalam media tertentu. Proses finishing sampel dilakukan dengan memberikan perlakuan annealing. Variasi proses yang digunakan yaitu media quenching dan waktu penahanan pada annealing. Media quenching yang digunakan berupa tawas, molasses dan pencampuran antara molasses dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Baja karbon dipanaskan pada suhu 900°C untuk media quenching 1, 1034°C untuk media quenching 2, 1035°C untuk media quenching 3. Waktu penahanan selama proses annealing bervariasi 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam.

3.2.4 Waktu Penahanan Proses Annealing

Baja karbon yang telah melalui proses pelapisan dilanjutkan pada proses annealing. Baja karbon dipanaskan dalam furnace pada suhu 400°C . Kemudian ditahan beberapa saat dan didinginkan pada suhu kamar. Variasi waktu waktu penahanan yang digunakan yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam untuk masing-masing substrat dengan media quenching tertentu. Waktu penahanan pada proses annealing bertujuan untuk peningkatan kehomogenan struktur. Berdasarkan waktu penahanan, sampel dibagi menjadi empat macam:

- T1 menunjukkan sampel baja karbon diquenching dengan media tawas dan dilanjutkan proses annealing dengan waktu penahanan 1 jam.

- T2 menunjukkan sampel baja karbon diquenching dengan media tawas dan dilanjutkan proses annealing dengan waktu penahanan 2 jam.
- T3 menunjukkan sampel baja karbon diquenching dengan media tawas dan dilanjutkan proses annealing dengan waktu penahanan 3 jam.
- T4 menunjukkan sampel baja karbon diquenching dengan media tawas dan dilanjutkan proses annealing dengan waktu penahanan 4 jam.

Sampel untuk media quenching 2 yaitu M1, M2, M3, M4, dan A11, A12, A13, A14 untuk sampel media quenching 3. Pengaturan tata letak sampel saat dipanaskan di furnace dapat dilihat pada lampiran.

3.2.5 Menentukan Nilai Kapasitansi Panas

Penentuan nilai kapasitas panas pada baja karbon dilakukan melalui metode pengukuran kalorimeter dan karakterisasi sifat termal melalui pemerian grafik kapasitas panas sebagai fungsi suhu menggunakan persamaan kapasitas panas yang diacu pada buku Peery's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition.

- **Metode Pengukuran Kalorimeter**

Nilai kapasitas panas besi diperoleh dengan menggunakan kalorimeter di Laboratorium Fisika Dasar Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Kalorimeter dihubungkan dengan sumber listrik. Sampel diletakkan di dalam kalorimeter. Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan satu derajat celcius diperoleh sebagai data percobaan. Nilai kapasitas plat baja karbon T, M, dan A1, diukur dengan kalorimeter melalui media aquades. Metode ini digunakan pada pengukuran suhu 0°- 100°C.



Gambar 3.1 Rangkaian pengukuran kapasitas panas dengan kalorimeter

3.3 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi baja karbon berlapis alumina dilakukan untuk mengetahui sifat panas jenis baja karbon berdasarkan media quenching yang digunakan. Karakterisasi yang dilakukan meliputi karakterisasi struktur dan karakterisasi sifat. Pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) mewakili karakterisasi struktur. Pengujian vickers dan nilai panas jenis dengan pengukuran kalorimeter mewakili karakterisasi sifat. Proses karakterisasi berfungsi sebagai data pendukung dalam penelitian ini.

3.3.1 Sifat Kekerasan

Sifat kekerasan baja karbon berlapis alumina dapat diketahui menggunakan uji vickers (uji kekerasan). Uji kekerasan bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan baja karbon terhadap deformasi plastis dan indikator untuk menentukan trend pengamatan XRD (*X-Ray Diffractometer*). Karakterisasi ini dilakukan di Laboratorium Zat Padat Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Beban yang digunakan ketika uji vickers yaitu 2 kg dan waktu penetrasi (*duell time*) 5 detik.

3.3.2 Struktur Permukaan

Struktur permukaan baja karbon dapat diketahui melalui uji XRD (*X-Ray Diffractometer*). Pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) bertujuan untuk mengetahui fasa yang telah terbentuk pada substrat. Sampel terbaik berdasarkan data uji vickers akan dilakukan pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel.

3.3.3 Interpretasi Data Pengukuran Kalorimeter

a. Pemerian Grafik Q-T

Grafik Q-T dibuat berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran kalorimeter. Sumbu vertikal Q mewakili kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu kalorimeter sebesar 1°C . Sumbu horizontal T mewakili kenaikan suhu. Q diperoleh dari tegangan, arus, dan waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1°C .

b. Tafsiran Grafik Q-T ke dalam Persamaan Q-T

Bentuk umum persamaan yang digunakan diambil dari Perry's Handbook dengan konstanta-konstanta sebarang. Konstanta-konstanta persamaan yang bersesuaian dengan grafik Q-T pengukuran kalorimeter dipecahkan dengan teknik "Gauss-Jordan".

c. Pemerian Grafik C-T

Kalor dalam fungsi suhu disajikan pada tabel 3.1. Berdasarkan persamaan kalor dalam fungsi suhu maka dapat diperoleh nilai kapasitas panas melalui operasi derivatif yang diberikan pada persamaan tersebut.

Tabel 3.1 persamaan Persamaan kalor sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K) berdasarkan hasil pengukuran kalorimeter

Jenis pengukuran	Q(T) pada suhu 25°C (298K)
Kalorimeter	$1,58T^3 - 1451,08T^2 + 444749,08T + 45450512,88$
Kalorimeter + besi	$2,408274T^3 - 2204,911168T^2 + 673428,544114T + 68572362,577241$
Kalorimeter +sampel Al2	$-0,179484T^3 - 165,04679T^2 - 49697,04079T + \frac{8236035,576}{T} + 4964340,07$
Kalorimeter +sampel M2	$2,847432T^3 - 2599,703016T^2 + 790684,5283T + \frac{91354222,74}{T} + 79753337,04$
Kalorimeter +sampel T2	$1,41T^3 - 1237,14T^2 + 362129,63T + \frac{44357515,85}{T} + 35199191$

d. Tafsiran Grafik C-T ke dalam Persamaan C-T

Dari grafik C-T maka diperoleh nilai kapasitas panas pada suhu 25°C. Pembagian kapasitas panas dengan massa sampel akan menghasilkan panas jenis pada suhu 25°C.

3.4 Parameter Pelapisan Baja Karbon

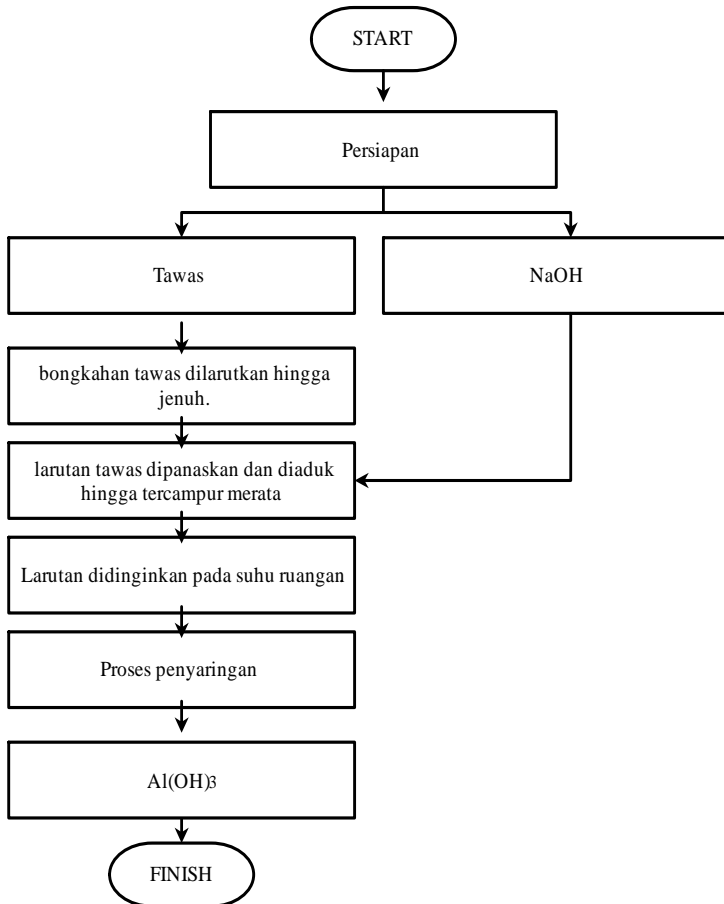
Pelapisan baja karbon disajikan dalam tabel dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 3.2 Parameter pelapisan baja karbon

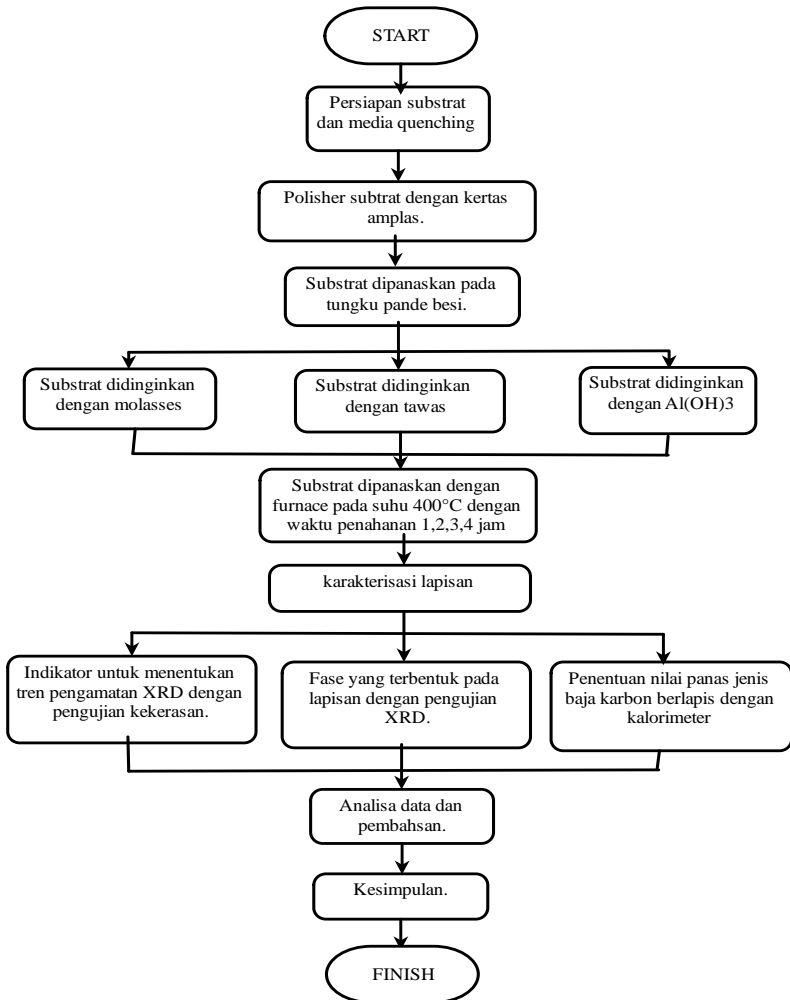
Sampe l	Temperat ur (°C)	Media Quenching	Temperat ur Annealing (°C)	Waktu Annealin g (jam)
T	900	Tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	400	1
				2
				3
				4
M	1034	Molases ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)	400	1
				2
				3
				-
Al	1035	$\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)	400	1
				2
				3
				4

3.5 Diagram Alir Penelitian

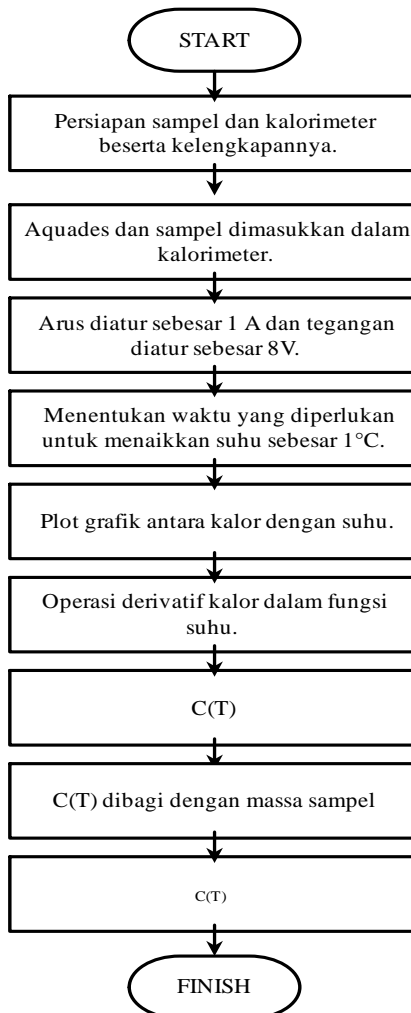
Secara garis besar terdapat 2 tahapan dalam percobaan ini yaitu pembuatan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan proses pelapisan baja karbon untuk meningkatkan panas jenis. Kedua proses tersebut disajikan dalam gambar 3.2 dan gambar 3.3.



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan Al(OH)_3



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian pelapisan Alumina pada baja karbon untuk meningkatkan panas jenis.



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian penentuan nilai panas jenis sampel

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Sampel pelapisan alumina (Al_2O_3) diperoleh dari pasta $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). Pasta $\text{Al}(\text{OH})_3$ diperoleh dari larutan tawas bongkahan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dicampur dengan larutan NaOH . Sampel-sampel pembanding didapat dari baja karbon yang diquenching dengan media tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dan molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) secara terpisah. Sampel-sampel tersebut diproses lanjut dengan proses *annealing* pada suhu 400°C dengan waktu penahanan yang berbeda.

Karakterisasi struktur dilakukan dengan uji XRD(*X-Ray Diffractometer*) pada beberapa sampel baik yang dilapisi dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), sampel yang diquenching dengan tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), maupun sampel yang diquenching dengan molasses($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) saja. Karakterisasi kekerasan mekanik dilakukan dengan uji vickers. Karakterisasi termal berupa panas jenis dilakukan dengan pengukuran kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sampel dalam kalorimeter sebesar 1°C dalam rentang pengukuran suhu tertentu.

Untuk mendapatkan nilai panas jenis, hasil pengukuran sampel dari kalorimeter dijadikan sebagai data baku yang diberikan ke dalam grafik dan disajikan ke dalam persamaan kalor sebagai fungsi suhu. Kapasitas panas diperoleh dari operasi derivatif dari persamaan kalor dalam fungsi suhu. Panas jenis diperoleh dari kapasitas panas dibagi dengan massa sampel. Panas jenis fasa sampel pada suhu 25°C dibandingkan dengan panas jenis fasa yang bersesuaian dari literatur.

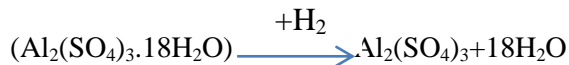
4.1 Pengaruh Variabel Media Pendinginan terhadap Fasa pada Permukaan Baja Karbon

Penelitian ini menggunakan tiga variabel media *quenching* yang meliputi tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) dan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). Jenis

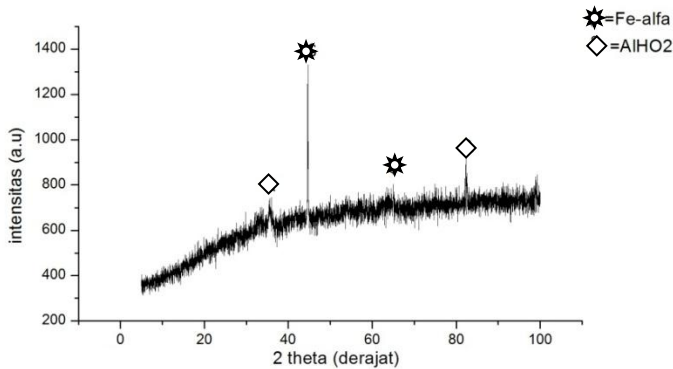
variabel digunakan untuk mengetahui fasa yang terbentuk akibat perlakuan *heat treatment*. Sampel T adalah substrat berlapis tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), sampel M adalah substrat berlapis molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) dan sampel Al adalah sampel berlapis $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). Fasa yang terbentuk dapat diketahui melalui pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*). Pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel dilakukan di Laboratorium XRD (*X-Ray Diffractometer*) Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

4.1.1 Media quenching tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

Pada penelitian ini media quenching tawas merupakan bongkahan tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) yang dilarutkan dengan air hingga jenuh. Reaksi kimia yang terjadi yaitu



Fasa yang terbentuk pada sampel T dapat dilihat berdasarkan hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*). Pengujian dilakukan pada sampel T2 (substrat dengan media quenching molasses dan waktu penahanan proses annealing 2 jam). Setelah diinterpretasi menggunakan program Match!, maka dapat diketahui fasa yang terbentuk akibat proses pelapisan ini yaitu Fe-alfa dan AlHO_2 .

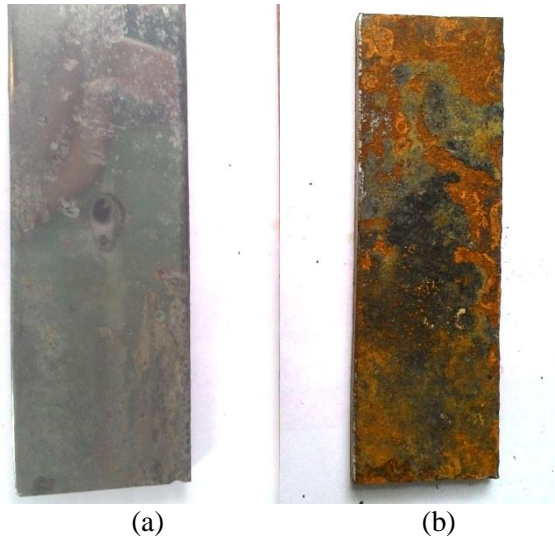


Gambar 4.1 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel T2

Terbentuknya lapisan pada substrat dapat dianalisa dari reaksi kimia yang terjadi. Substrat bersuhu 900°C didinginkan mendadak pada media larutan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 18\text{H}_2\text{O}$. Pada proses pemanasan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ akan mengalami reaksi dekomposisi menjadi AlHO_2 dan H_2SO_4 reaksi kimia yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

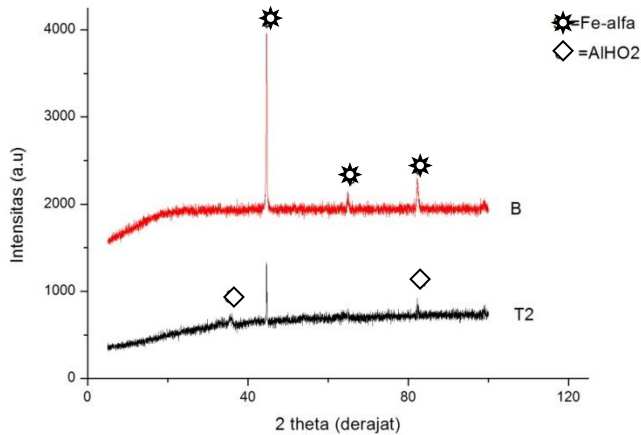


H_2O akan Dipanaskan 900°C 00°C dan H_2SO_4 akan mengalami penguapan pada suhu 900°C -1200°C. Sehingga pada suhu 1035°C hanya terdapat fasa AlHO_2 yang dapat melapisi substrat. Hasil pelapisan baja karbon dengan proses quenching pada media tawas dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Sampel (a) B (b)T2

Sebuah sampel dinyatakan berhasil terlapisi ketika muncul fasa baru pada substrat. Perbandingan hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) antara sampel tanpa perlakuan heat treatment (sampel B) dan sampel dengan perlakuan heat treatment pada media quenching tawas dan waktu penahanan proses annealing 2 jam (sampel T2) disajikan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel B dan T2

Grafik di atas merupakan perbandingan fasa yang muncul pada sampel tanpa perlakuan heat treatment (sampel B) dan sampel dengan perlakuan heat treatment pada media quenching tawas dan waktu penahanan proses annealing 2 jam (sampel T2). Adanya pelapisan ditunjukkan dengan adanya fasa baru pada substrat yang telah diquenching.

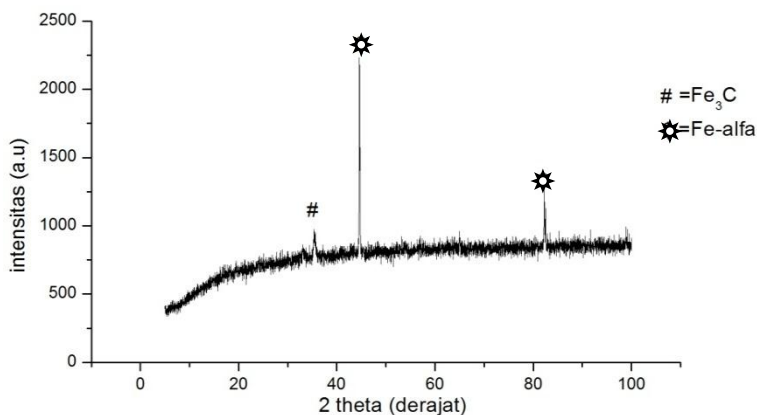
4.1.2 Media quenching molasses $C_{12}H_{22}O_{11}$



Gambar 4.4 Pasta molasses

Molasses $C_{12}H_{22}O_{11}$ yang digunakan merupakan tetes tebu murni berbentuk pasta (tidak mendapat campuran). Bentuk media quenching berupa pasta menyebabkan sulitnya substrat ketika proses pendinginan. Sehingga sampel M yang berhasil dilapisi berjumlah 3 sampel yaitu M1, M2, dan M3. Sampel M4 tidak berhasil dilapisi karena media quenching mengeras dan tidak dapat digunakan lagi sebagai media pendingin. Pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) dilakukan pada sampel M2 (sampel dengan media quenching molasses dan waktu penahanan proses annealing 2 jam).

Hasil interpretasi data pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) pada sampel M menggunakan pemrograman Match! menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk pada sampel M2 yaitu Fe_3C dan Fe-alfa.



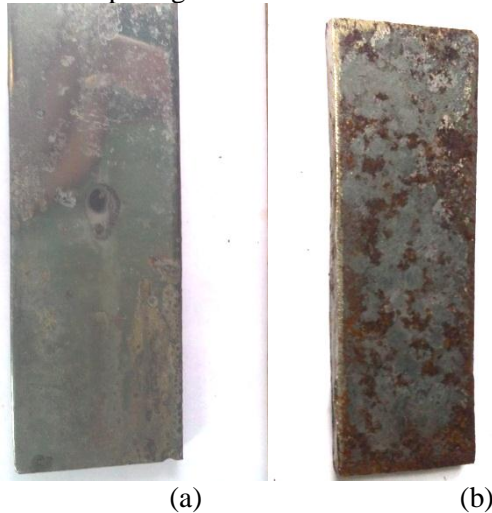
Gambar 4.5 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel M2

Fasa yang terbentuk dapat dianalisa berdasarkan reaksi kimia yang terjadi. Substrat dipanaskan pada suhu $1034^{\circ}C$ dan

didinginkan mendadak pada larutan molasses. Reaksi kimia dapat dituliskan sebagai berikut:

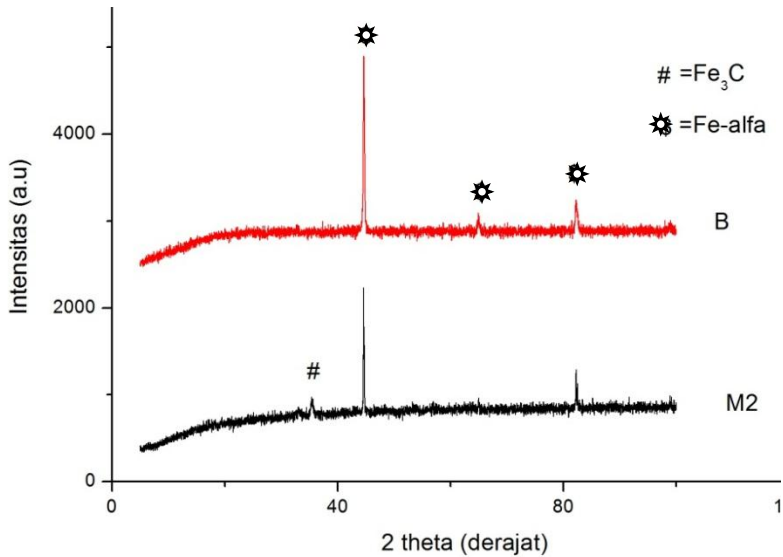


Pada suhu 1034°C dipanaskan, sehingga hanya atom C yang berdifusi dengan lapisan baja karbon. Atom C akan berikatan dengan atom Fe, sehingga terbentuk fasa Fe_3C . Hasil pelapisan baja karbon dengan proses quenching pada media tawas dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Sampel (a) B (b) M2

Proses pelapisan pada sampel M2 dinyatakan berhasil jika muncul fasa baru pada sampel M2 saat dibandingkan dengan sampel B. Hal ini dapat dilihat berdasarkan perbandingan hasil XRD sampel M2 dengan sampel B.

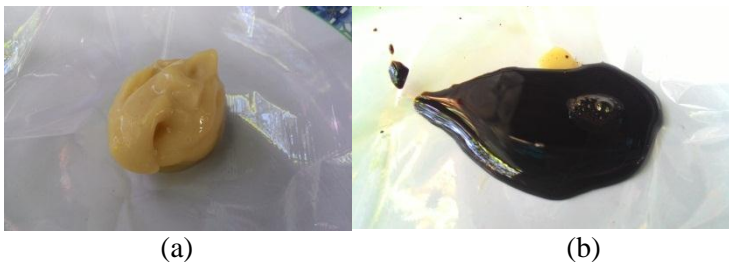


Gambar 4.7 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel B dan M2

Sampel B hanya terdapat sampel Fe-alfa. Sedangkan sampel M2 muncul fasa Fe_3C .

4.1.3 Media quenching $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$

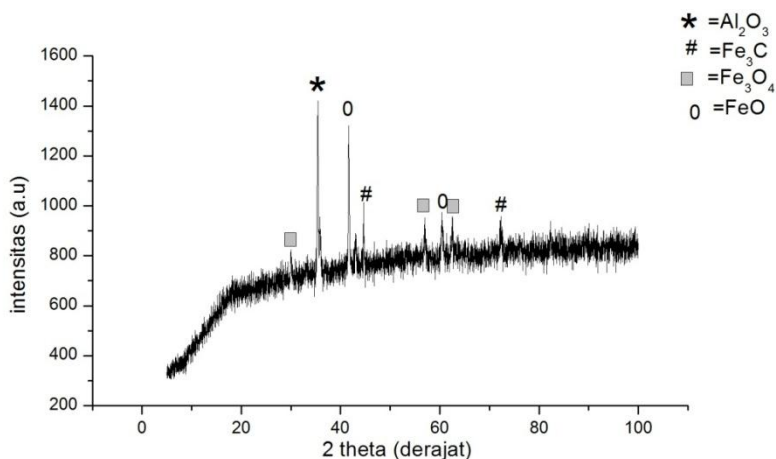
4.1.4



(b) **Gambar 4.8** Larutan(a) $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan (b) molasses

$\text{Al}(\text{OH})_3$ terbuat dari tawas bongkahan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan hingga jenuh. Kemudian larutan tersebut dipanaskan dengan kompor gas. Proses pemanasan diiringi dengan penambahan NaOH . Larutan diaduk hingga tercampur merata. Larutan didinginkan hingga muncul endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Penyaringan dilakukan agar endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ tertinggal pada kertas saring, sehingga mudah didapatkan.

Media quenching 3 dibuat dengan cara mencampurkan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan molasses $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. Penambahan molasses $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ bertujuan untuk merubah pasta $\text{Al}(\text{OH})_3$ menjadi cairan $\text{Al}(\text{OH})_3$, karena media quenching berupa cairan akan lebih mudah digunakan dibandingkan pasta. Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel Al2 disajikan dalam gambar 4.9



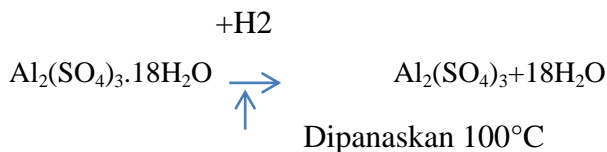
Gambar 4.9 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel Al2

Grafik di atas merupakan hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) dari substrat yang didinginkan pada medi quenching 3. Berdasarkan interpretasi data XRD (*X-Ray Diffractometer*) menggunakan pemrograman Match! maka dapat diketahui bahwa

fasa yang terbentuk pada media quenching ini yaitu Al_2O_3 , Fe_3C , Fe_3O_4 , FeO . Fasa yang muncul bersesuaian dengan harapan yang ingin dicapai pada penelitian ini. Hal ini ditandai dengan munculnya fasa Al_2O_3 pada sampel. Fasa Al_2O_3 dianalisa berdasarkan prekursor yang paling sering digunakan untuk persiapan Al_2O_3 yaitu gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dan boehmite (AlOOH) (Samir, 2016). Sehingga pada penelitian ini digunakan prekursor $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang diperoleh dari bongkahan tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) yang direaksikan dengan larutan basa NaOH untuk mendapatkan $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Fasa Al_2O_3 yang terbentuk dapat dianalisa berdasarkan reaksi kimia yang terjadi. Ketika baja karbon dipanaskan pada suhu 1035°C , kemudian didinginkan secara mendadak (quenching) maka reaksi kimia yang terjadi sebagai berikut:

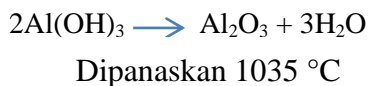
Reaksi kimia pembuatan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$



Pada pemanasan 100°C maka H_2O akan mengalami penguapan dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ akan ditambahkan dengan larutan bersifat basa, sehingga menghasilkan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Reaksi kimia yang terjadi adalah



Hasil reaksi disaring untuk mendapatkan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Substrat dipanaskan pada suhu 1035°C dan didinginkan pada media pencampuran molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) dan $\text{Al}(\text{OH})_3$, maka reaksi kimia yang terjadi yaitu

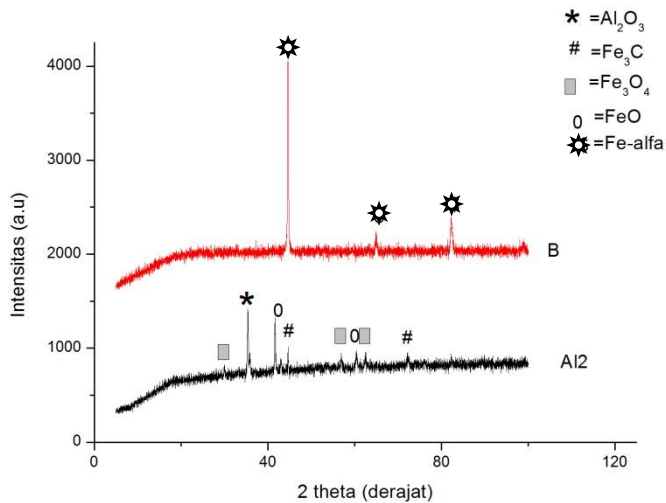


Hasil pelapisan baja karbon dengan proses quenching pada media tawas dapat dilihat pada gambar 4.10.



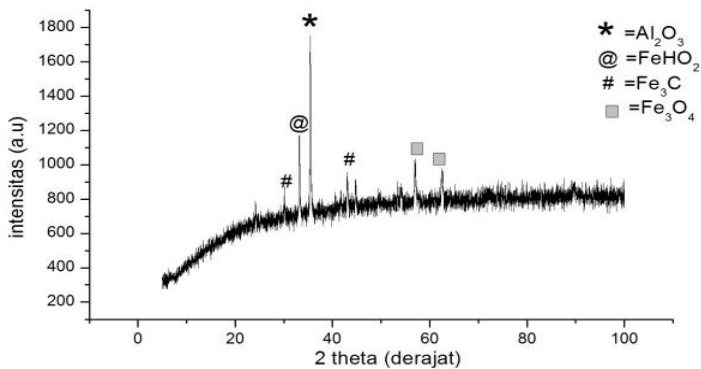
Gambar 4.10 Sampel (a) B (b) Al2

Pelapisan diketahui berdasarkan munculnya fasa baru pada sampel. Pelapisan yang terjadi pada sampel Al dapat dilihat berdasarkan hasil XRD sampel B dan sampel Al2.

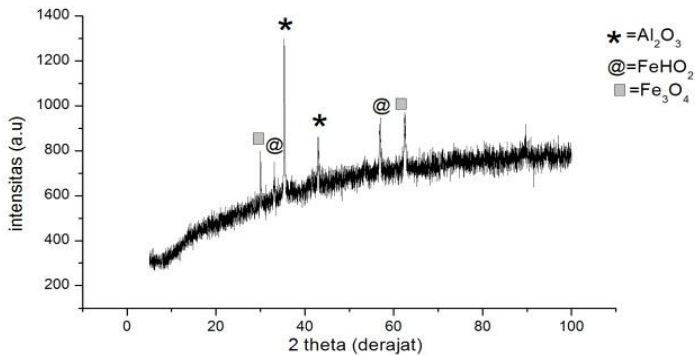


Gambar 4.11 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel B dan Al2

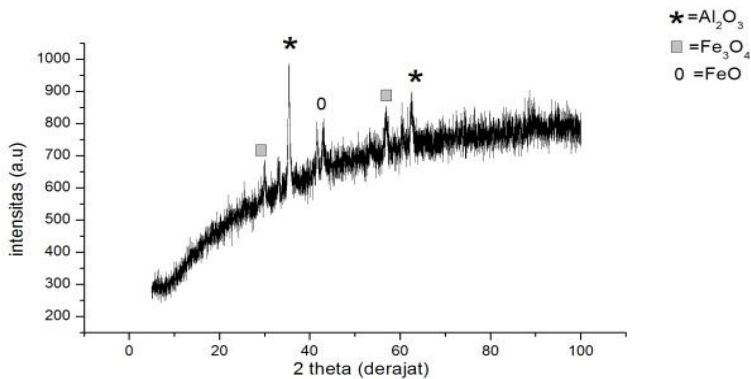
Penelitian ini menganalisa pelapisan Al_2O_3 , sehingga diperlukan pengujian XRD sampel Al1, Al3, Al4. Hasil XRD sampel Al1, Al3, dan Al4.



Gambar 4.12 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel Al1



Gambar 4.13 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel Al3



Gambar 4.14 Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel Al4

Pada sampel dengan media quenching 3 dan waktu penahanan proses annealing 1 jam terbentuk fasa Al_2O_3 , FeHO_2 , Fe_3C , Fe_3O_4 , waktu penahanan annealing 3 jam terbentuk fasa

Al_2O_3 , FeHO_2 , Fe_3O_4 , waktu penahanan annealing 4 jam terbentuk fasa Al_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO .

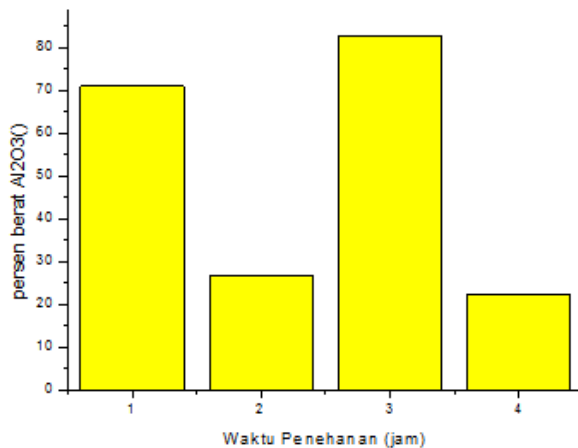
4.2 Pengaruh Waktu Penahanan Annealing terhadap Fasa pada Permukaan Baja Karbon

Sampel M, T dan Al yang telah melalui proses quenching akan di lanjutkan proses annealing dalam furnace di Laboratorium Keramik Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Suhu annealing yang digunakan adalah 400°C . Variasi waktu penahanan pada proses annealing yaitu 1 jam, 2 jam, 3jam dan 4 jam. Waktu penahanan yang digunakan akan mempengaruhi persen berat dari sampel yang terbentuk. Pengaruh waktu penahanan proses annealing terhadap persebaran fasa dapat diketahui melalui hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) sampel Al1, Al2, Al3, dan Al4. Data ini dapat diketahui melalui hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) yang diinterpretasi menggunakan pemrograman Rieticca. Berdasarkan hasil XRD sampel Al maka dapat diketahui persent berat sampel untuk masing-masing waktu penahanan. Persen berat sampel Al disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Persen berat dari fasa yang terbentuk pada annealing sampel Al

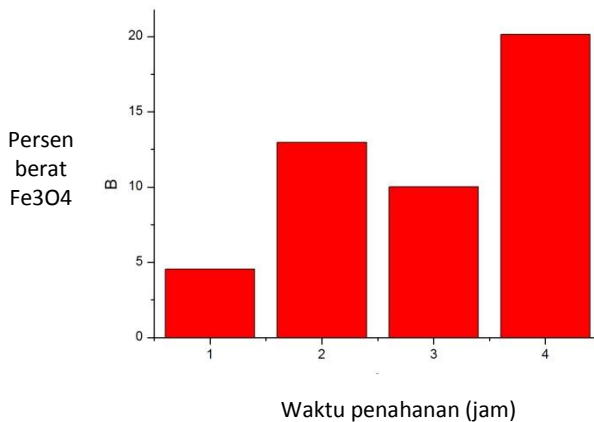
Waktu penahanan annealing (jam)	Persen berat dari fasa yang terbentuk				
	Al_2O_3 (%w)	Fe_3C (%w)	Fe_3O_4 (%w)	FeO (%w)	FeHO_2 (%w)
1	70,91	0,46	4,55	-	24,08
2	26,57	48,49	12,96	12,26	-
3	82,47	-	10,02	-	7,51
4	22,37	-	20,15	57,47	-

Berdasarkan tabel maka dapat diketahui nilai persen berat Al_2O_3 dan Fe_3O_4 dipengaruhi oleh waktu annealing. Fasa Al_2O_3 mempunyai nilai persen berat yang lebih besar pada waktu penahanan 1 jam dan 3 jam proses annealing jika dibandingkan waktu penahanan 2 jam dan 4 jam proses annealing. Grafik hubungan waktu annealing terhadap persen berat Al_2O_3 disajikan pada gambar 4.14.



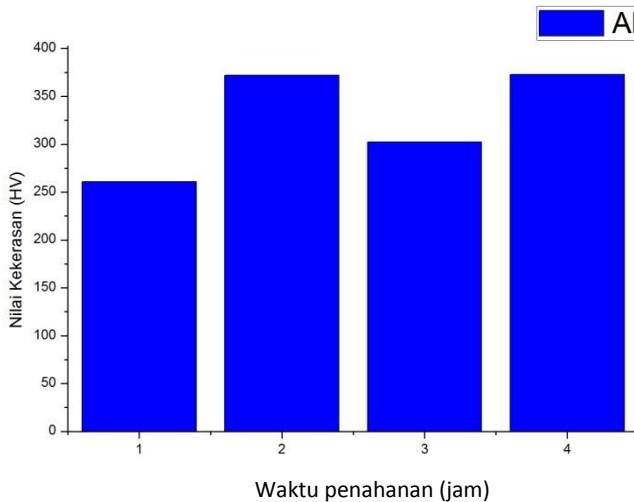
Gambar 4.15 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan persen berat fasa Al_2O_3

Sedangkan fasa Fe_3O_4 mempunyai persen berat lebih besar pada waktu penahanan proses annealing 2 jam dan 4 jam daripada waktu penahanan 1jam dan 3 jam.



Gambar 4.16 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan persen berat fasa Fe_3O_4

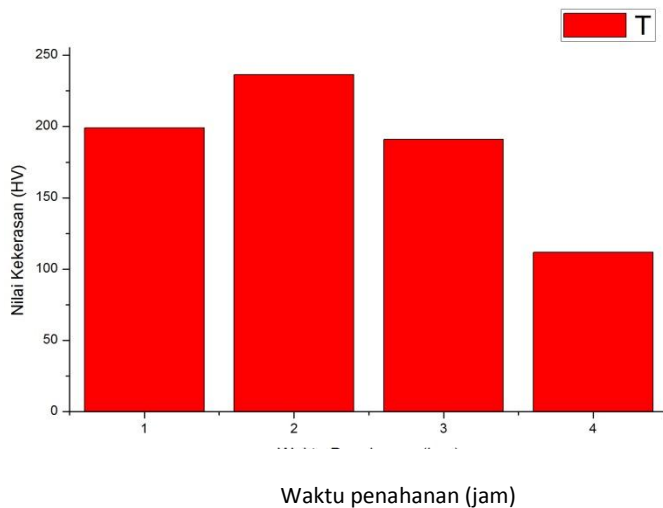
Persen berat menunjukkan banyaknya fasa dalam suatu material. Sehingga dapat berpengaruh terhadap nilai kekerasan sampel. Pengaruh waktu penahanan annealing terhadap nilai kekerasan dapat diketahui dengan pengujian *micro hardness*. Penelitian ini menggunakan pengujian *micro hardness* dengan beban 2 kg dan waktu penetrasi (*duell time*) 5 detik. Data yang diperoleh berdasarkan pengujian *micro hardness* disajikan pada gambar 4.16



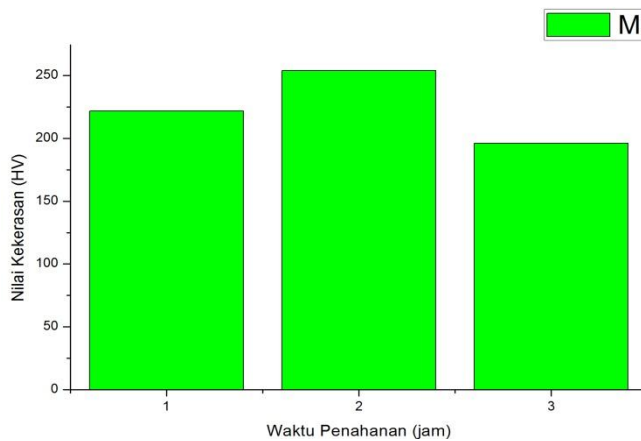
Gambar 4.17 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan nilai kekerasan sampel Al

Nilai vickers yang dihasilkan menunjukkan bahwa sampel Al akan mempunyai nilai kekerasan terbaik pada waktu penahanan proses annealing 2 jam dan 4 jam, dan nilai kekerasan akan menurun pada 1 jam dan 3 jam. Nilai kekerasan pada sampel Al berbanding terbalik dengan persen berat fasa Al_2O_3 dan sebanding dengan nilai Fe_3O_4 yang dihasilkan.

Pengujian vickers juga dilakukan pada sampel M dan T. Perbandingan antara nilai kekerasan dan waktu penahanan proses annealing disajikan pada gambar 4.17



Gambar 4.18 Perbandingan antara waktu penahanan proses annealing dengan nilai kekerasan sampel Al



Gambar 4.19 Grafik nilai kekerasan terhadap waktu penahanan proses annealing dengan nilai kekerasan sampel M

Sampel T dan M mempunyai nilai vickers terbaik pada waktu penahanan 2 jam. Sehingga pengujian XRD hanya dilakukan untuk sampel M2 dan T2. Persen berat dari fasa yang terbentuk diinterpretasi menggunakan program Rieticca. Hasil interpretasi data tersebut disajikan pada tabel 4.2 dan tabel 4.3

Tabel 4.2 Persen berat dari fasa yang terbentuk pada sampel M2

Waktu penahanan annealing (jam)	Persen berat dari fasa yang terbentuk	
	Fe-alfa (% w)	Fe ₃ C (% w)
2	32,39	67,61

Tabel 4.3 Persen berat dari fasa yang terbentuk pada sampel T2

Waktu penahanan annealing (jam)	Persen berat dari fasa yang terbentuk	
	AlHO ₂ (% w)	Fe-alfa (% w)
2	1,46	98,54

4.3 Keterkaitan Medial Quenching terhadap Kapasitas Panas Jenis

Nilai panas jenis diperoleh melalui pengukuran kapasitas panas menggunakan kalorimeter dan pembuatan persamaan umum kapasitas panas dengan sumber Perry's Handbook.

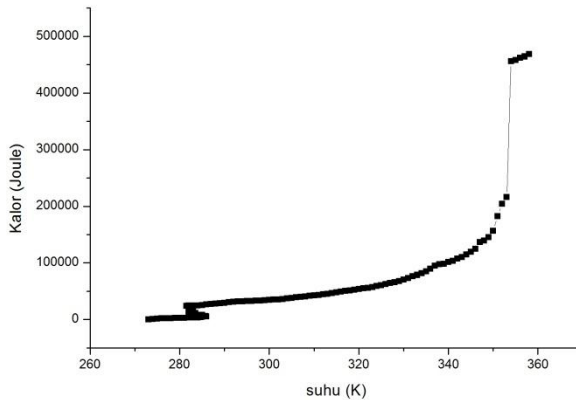
4.3.1 Pengukuran kapasitas panas Kalorimeter

Kapasitas panas suatu bahan dapat diukur menggunakan kalorimeter. Pengukuran kalorimeter menghasilkan data berupa hubungan antara kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu

benda sebesar 1 derajat celcius. Pengukuran dilakukan pada kalorimeter, kalorimeter ditambah sampel B, kalorimeter ditambah sampel Al2, kalorimeter ditambah sampel M2 dan kalorimeter ditambah sampel T2. Sehingga data yang diperoleh yaitu kalor kalorimeter, kalor kalorimeter ditambah sampel B, kalor kalorimeter ditambah sampel Al2, kalor kalorimeter ditambah sampel M2 dan kalor kalorimeter ditambah sampel T2. Suhu pengukuran dimulai dari 0°C (273K) dan berakhir pada suhu tertentu (ditentukan oleh bahan uji pada kalorimeter). Landasan suhu yang digunakan bersumber dari Perry's Handbook yang menyajikan persamaan umum kapasitas panas dari suhu 0°C (273K).

4.3.1.1 Perpindahan panas kalorimeter

Kalorimeter terdiri dari air dan alumunium. Arus listrik 1A dan tegangan 8 V diatur secara konstan. Suhu mulai diukur mulai 0°C (273K). Data yang diperoleh adalah waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sebesar 1°C (274K). Kalor diperoleh berdasarkan hubungan antara arus, tegangan dan waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sebesar 1°C (274K). Hubungan antara kalor dengan suhu disajikan pada gambar 4.11

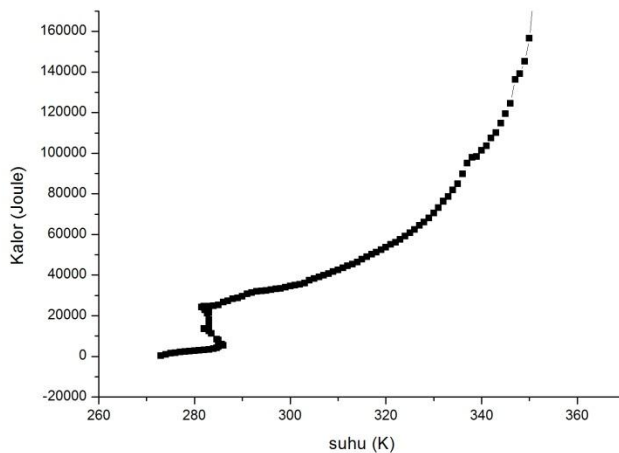


Gambar 4.20. Grafik pengukuran termal kalorimeter

Pada suhu 9°C (282K) hingga 13°C (286K) terjadi anomali. Hal ini disebabkan oleh media yang digunakan adalah aquades. Pada suhu 80°C (353K) suhu kalorimeter tidak mengalami kenaikan, sehingga nilai arus dan tegangan ditingkatkan menjadi $1,5\text{A}$ dan 11V . Percobaan dihentikan pada suhu 85°C (358K) dikarenakan terjadi peluapan air pada permukaan kalorimeter.

4.3.1.2 Perpindahan panas pada kalorimeter berisi sampel B

Panas sampel B diperoleh melalui pengukuran kalorimeter yang diisi sampel B. Pengukuran dimulai dari 0°C (273K). Kalorimeter dialiri arus 1A dan tegangan 8V . Media yang digunakan berupa aquades, sehingga terjadi anomali pada suhu 2°C (275K) - 4°C (277K) dan 14°C (287K) - 19°C (292K). Data yang diperoleh disajikan dalam grafik perbandingan antara suhu dengan kalor.

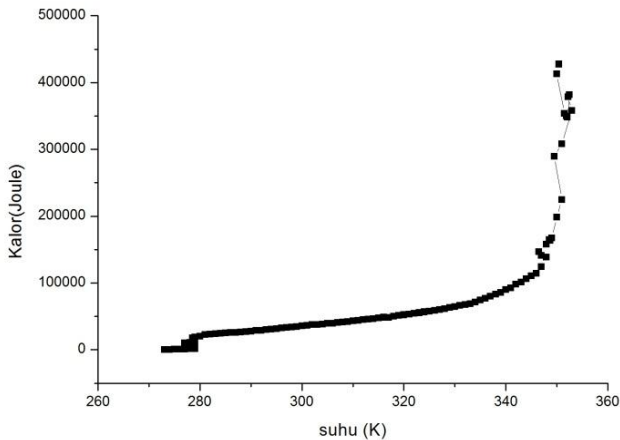


Gambar 4.21 Grafik pengukuran panas kalorimeter berisi sampel B

Pada suhu 76°C (349K) air meluap ke permukaan kalorimeter, namun suhu tetap mengalami kenaikan hingga 77°C (350K).

4.3.1.3 Perpindahan panas pada kalorimeter berisi sampel A12

Panas sampel A12 diperoleh melalui pengukuran kalorimeter dengan menambahkan sampel A12 di dalam media aquades. Pengukuran kalor dimulai dari suhu 0°C (273K). Kalorimeter dialiri arus 1A dan tegangan 8V . Arus dan tegangan dijaga konstan selama percobaan. Terjadi anomali pada suhu 4°C (277K) - 7°C (280K). Data yang diperoleh disajikan dalam grafik perbandingan anatara suhu dengan kalor.

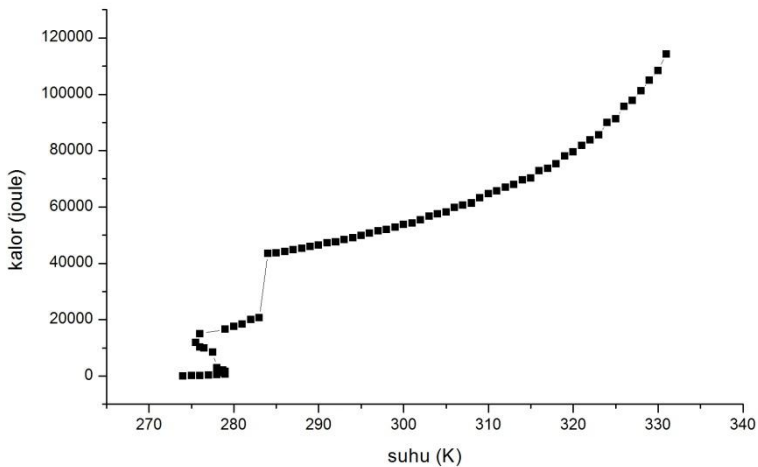


Gambar 4.22 Grafik pengukuran termal kalorimeter berisi sampel A12

Anomali terjadi kembali pada suhu 76°C (349K) - 79°C (352K). Pada suhu 79°C (352K) pengukuran dihentikan karena pada suhu tersebut tidak terjadi kenaikan suhu dan air meluap pada permukaan kalorimeter.

4.3.1.4 Perpindahan panas pada kalorimeter berisi sampel M2

Panas sampel M2 diperoleh melalui pengukuran kalorimeter dengan penambahan sampel M2 pada media aquades. Pengukuran dimulai dari suhu 0°C (273K). Anomali terjadi pada suhu 3°C (276K) - 6°C (279K). Data yang diperoleh disajikan dalam grafik perbandingan antara suhu dan kalor.



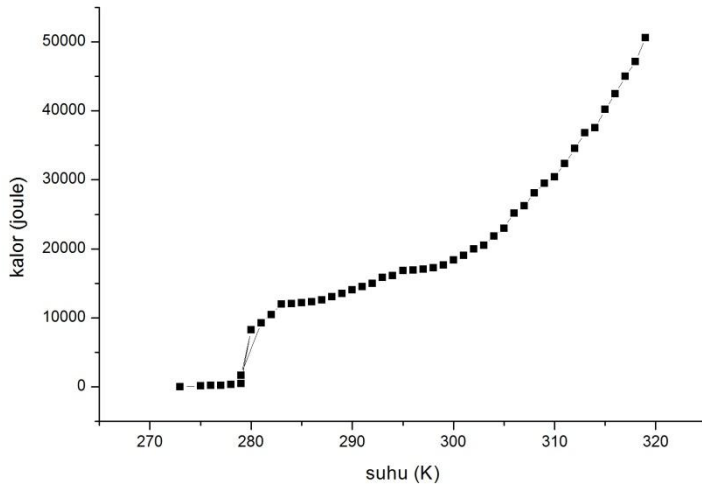
Gambar 4.23 Grafik pengukuran termal kalorimeter berisi sampel M2

Pada suhu 55°C (328K) kalorimeter mengalami penurunan suhu, namun dapat mengalami kenaikan suhu kembali hingga 58°C (331K). Pengukuran dihentikan pada suhu 58°C (331K) karena suhu kalorimeter tidak mengalami kenaikan.

4.3.1.5 Perpindahan panas pada kalorimeter berisi sampel T2

Panas sampel T2 diperoleh melalui pengukuran kalorimeter dengan penambahan sampel T2 pada media aquades. Pengukuran dimulai dari suhu 0°C (273K). Anomali terjadi pada suhu 6°C

(279K). Data yang diperoleh disajikan dalam grafik perbandingan antara suhu dan kalor.



Gambar 4.24 Grafik pengukuran termal kalorimeter berisi sampel T2

Pengukuran dilakukan hingga suhu 47°C (320K), karena pada suhu 48°C (321K) tidak terjadi perubahan suhu kalorimeter.

4.3.2 Persamaan umum kapasitas panas

Persamaan umum kapasitas panas berdasarkan persamaan umum masing-masing fasa di Perry's Handbook. Nilai konstanta diperoleh dari data pengukuran kalorimeter. Persamaan umum disajikan dalam persamaan kalor. Nilai differensial dari persamaan tersebut merupakan kapasitas panas.

Berdasarkan data yang diperoleh didapatkan nilai kalor dari masing-masing pengukuran kalorimeter yang terdapat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Persamaan kalor sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K) berdasarkan hasil pengukuran kalorimeter

Jenis pengukuran	Q(T) pada suhu 25°C (298K)
Kalorimeter	$1,58T^3 - 1451,08T^2 + 444749,08T + 45450512,88$
Kalorimeter + besi	$2,408274T^3 - 2204,911168T^2 + 673428,544114T - 68573395,34$
Kalorimeter + sampel Al2	$-0,18T^3 - 165,05T^2 - 49643,88T - \frac{13552173,24}{T} + 4979708$
Kalorimeter + sampel M2	$2,847432T^3 - 2599,703016T^2 + 790684,5283T - \frac{91354222,74}{T} + 79754627,7$
Kalorimeter + sampel T2	$0,00016T^3 - 40,31T^2 + 2323T9,56 - \frac{8717983,78}{T} + 3396460,794$

Berdasarkan data tabel 4.4 maka dapat diperoleh nilai kalor masing-masing sampel dengan cara pengurangan aljabar biasa. Nilai masing-masing kalor disajikan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Persamaan kalor sampel sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K)

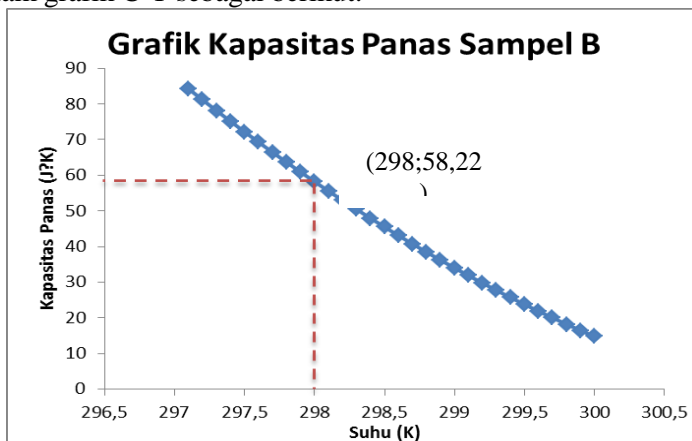
Sampe l	Q(T) pada suhu 25°C (298K)
B	$0,828274T^3 - 753,831168T^2 + 228679,4641T - 114023908,2$
Al2	$-1,76T^3 + 1616,13T^2 - 494392,96T + \frac{13552173,24}{T} - 40470805$
M2	$1,267432T^3 - 1148,623016T^2 + 345935,4483T - \frac{91354222,74}{T} - 125205140,6$
T2	$-1,58016T^3 + 1491,39T^2 - 467988,64T - \frac{8717983,78}{T} - 42054052,09$

Nilai kapasitas panas dapat diketahui melalui operasi derivatif fungsi kalor terhadap suhu. Pada 25°C (298K) nilai kapasitas panas disajikan dalam tabel 4.6.

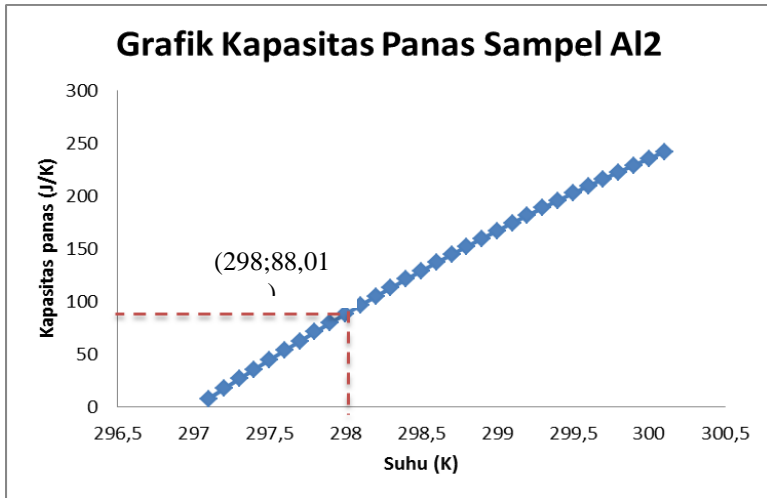
Tabel 4.6 Persamaan kapasitas panas sampel sebagai fungsi suhu pada 25°C (298K)

Sampel terukur	C(T) pada suhu 25°C (298K)
B	$2,484822T^2 - 1507,662336T + 228679,4641$
Al2	$-5,28T^2 + 3232,26T - \frac{13552173,24}{T^2} - 494392,96$
M2	$3,802296T^2 - 2297,246032T + \frac{91354222,74}{T^2} + 345935,448$
T2	$4,74048 T^2 + 2982,78 T - \frac{8717983,78}{T^2} - 4467988,6358$

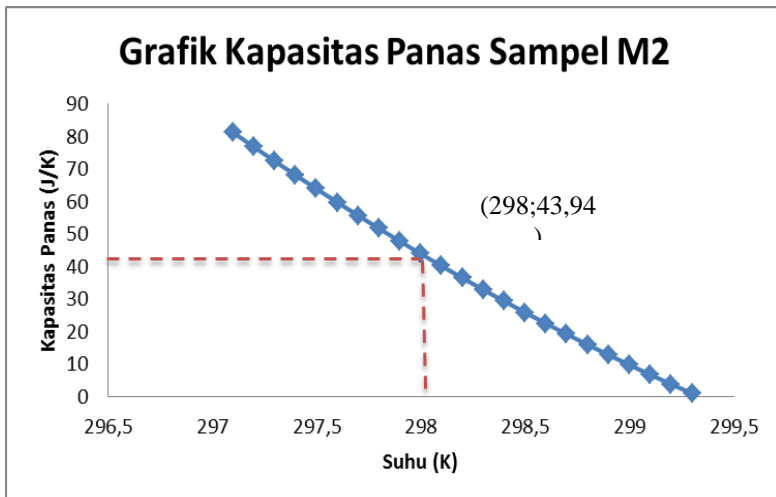
Nilai kapasitas panas berdasarkan tabel 4.5 dapat digambarkan dalam grafik C-T sebagai berikut:



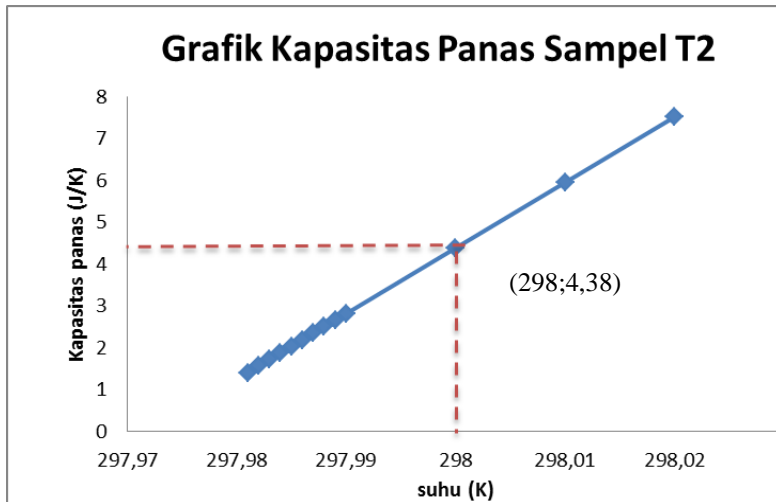
Gambar 4.25 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel B



Gambar 4.26 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel Al2



Gambar 4.27 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel M2



Gambar 4.27 Grafik kapasitas panas pada suhu 25°C sampel T2

Nilai kapasitas pada masing-masing sampel berasal dari substrat yang sejenis namun berbeda massa dan media quenching. Hal ini berakibat kepada nilai panas jenis yang dihasilkan oleh masing-masing sampel. Massa sampel disajikan dalam tabel 4.7.

Tabel 4.7 Massa sampel percobaan

No.	Sampel	Massa (gram)
1.	B	134,70
2.	A1	125,00
3.	M2	116,79
4.	T2	118,07

Sehingga pada suhu 25°C dapat diketahui nilai panas jenis masing-masing sampel sebagai berikut:

Tabel 4.8 Nilai panas jenis pada suhu 25°C (298K) berdasarkan pengukuran dan referensi

No.	Sampel	C pengukuran (Joule/gram K)	C referensi (Joule/gram K)
1.	B	0,432	0,450
2.	Al	0,704	0,840
3.	M2	0,352	0,602
4.	T2	0,035	-

Nilai panas jenis yang diperoleh berdasarkan pengukuran mendekati nilai panas jenis referensi. Hal ini menunjukkan bahwa metode kalorimeter dapat digunakan untuk menghitung panas jenis benda melalui data kalor dalam fungsi suhu.

Berdasarkan pengukuran kalorimeter diperoleh hasil nilai panas jenis pada masing-masing sampel yang telah disajikan pada tabel 4.8. Sampel Al2 mempunyai panas jenis yang lebih baik dibandingkan sampel M2 dan T2. Peningkatan nilai panas jenis dapat dianalisa melalui fasa yang terbentuk pada sampel dan nilai kekerasan mekanik material. Fasa yang terbentuk pada sampel dapat diketahui melalui pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*). Hasil XRD (*X-Ray Diffractometer*) menunjukkan fasa yang dimiliki sampel Al2 yaitu Al_2O_3 , Fe_3C , FeO , Fe_3O_4 . Persen berat masing-masing fasa pada sampel Al2 yaitu Al_2O_3 sebesar 26,57% w, Fe_3C sebesar 48,49% w, FeO sebesar 12,26% dan Fe_3O_4 sebanyak 12,96% w. Waktu penahanan selama 2 jam berakibat pada penambah persen berat fasa Fe_3C dan pengurangan fasa Al_2O_3 dibandingkan waktu penahanan 1 jam.

Nilai kekerasan sampel diperoleh melalui pengujian kekerasan *vickers hardness*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel Al2 memiliki nilai kekerasan mekanik yang terbaik

pula dengan nilai 371,89 HV. Peningkatan kekerasan mekanik ini disebabkan terbentuknya fasa Fe_3C yang mendominasi sampel dengan persen berat 48,49%w dan fasa Al_2O_3 dengan persen berat 26,57%w. Pembanding yang digunakan adalah sampel M2. Fasa Fe_3C yang terbentuk pada sampel M2 sebesar 67,61%w. Nilai kekerasan mekanik yang dihasilkan sebesar 254,03 HV. Nilai kekerasan sampel M2 lebih kecil dibandingkan sampel Al2. Hal ini disebabkan tidak munculnya fasa Al_2O_3 pada sampel M2. Pada sampel T2 dan sampel B tidak terbentuk fase Fe_3C . Nilai kekerasan mekanik sampel B yang dihasilkan sebesar 156,1 HV. Nilai kekerasan mekanik sampel T2 yang dihasilkan sebesar 236,48 HV.

Nilai panas jenis sampel terbaik adalah sampel Al2. Hal ini bersesuaian dengan nilai kekerasan mekanik terbaik pula. Panas jenis sampel Al2 bernilai 0,704 Joule/gram K. Sampel Al2 mempunyai nilai panas jenis terbaik karena terbentuknya fase Al_2O_3 . Berdasarkan data nilai panas jenis pada referesi, nilai panas jenis fase Al_2O_3 lebih besar dibandingkan Fe_3C , FeO , Fe_3O_4 dan Fe-alfa. Pernyataan ini diperkuat pula berdasarkan nilai panas jenis yang dihasilkan sampel M2 dan T2. Sampel M2 tersusun atas fase Fe_3C dan Fe-alfa. Nilai panas jenis sampel M2 yaitu 0,352 Joule/gram K dan sampel T2 tersusun atas fasa AlOH dan Fe-alfa memiliki nilai panas jenis 0.035 Joule/gram K.

Peningkatan panas jenis pada penelitian ini hanya terjadi pada sampel Al2. Pada sampel M2 dan T2 terjadi penurunan nilai panas jenis. Peningkatan dan penurunan panas jenis sangat ditentukan oleh media pendinginan. Hal tersebut karena terbentuknya suatu lapisan yang memiliki nilai panas jenis yang lebih rendah dibandingkan substrat. Hal tersebut juga sebaliknya terjadi pada suatu lapisan yang memiliki nilai panas jenis yang lebih tinggi (Al_2O_3)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5. 1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan metoda pelapisan alumina Al_2O_3 pada sampel baja karbon dengan proses *quenching*. Proses *quenching* ditindaklanjuti dengan proses *annealing* sampel dengan variasi waktu penahanan. Karakterisasi struktur pada sampel baja tersebut dilakukan dengan XRD (*X-Ray Diffractometer*). Karakterisasi sifat mekanik diperoleh dengan uji kekerasan vickers. Karakterisasi kemampuan termal berupa panas jenis sampel. Kalorimeter digunakan untuk memperoleh nilai panas jenis sampel.

Metode *quenching* digunakan untuk mendapatkan pelapisan alumina Al_2O_3 pada baja karbon. Baja dipanaskan sampai dengan suhu 1035°C . Baja panas tersebut langsung didinginkan secara mendadak dengan media $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dilarutkan pada molasses ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) dengan perbandingan volume 3:1. Proses dilanjutkan dengan *annealing* sampel baja tersebut di dalam *furnace* pada suhu 400°C . Waktu penahanan *annealing* bervariasi 1jam, 2 jam, 3jam dan 4 jam.

Sampel dengan waktu penahanan *annealing* 2 jam memiliki karakteristik kekerasan vickers dan karakteristik termal panas jenis terbaik. Nilai kekerasan sampel tanpa perlakuan meningkat dengan adanya pelapisan alumina dari nilai 156,1 HV menjadi 371,89 HV. Nilai panas jenis sampel tanpa perlakuan meningkat dengan adanya pelapisan alumina dari nilai 0,432 J/gram K menjadi 0,704 J/gram K. Pada media *quenching* molases nilai kekerasan sebesar 254,03 HV dan nilai panas jenis sebesar 0,376 Joule/gram K. Pada media *quenching* tawas nilai kekerasan sebesar 236,48 HV dan nilai panas jenis sebesar 0.037 Joule/gram K.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memanaskan baja pada suhu yang lebih tinggi.
2. Perbandingan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan molasses dilakukan dengan lebih variatif.
3. Proses annealing dilakukan dengan suhu yang bervariasi.
4. Pengukuran panas jenis dengan kalorimeter dilakukan dengan pengaturan tekanan sehingga dapat diperoleh range suhu yang lebih lebar.
5. Perlunya dilakukan pengukuran suhu leleh sampel sehingga dapat diperoleh panas jenis yang bersesuaian dengan sifat refraktori sampel.
6. Pengukuran panas jenis yang relevan dengan model “Debye-Einstein” untuk membandingkan pengukuran yang telah dilakukan pada penelitian ini.

”

DAFTAR PUSTAKA

- Aiso.T. at all. 2016. Effect of Si and Al additions to carbon steel on material transfer and coating damage mechanism in turning with CVD coated tools. P.379–389.
- Dian, Saras .P.2012. Jurnal Panas Lebur. Laboratorium Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka.
- Fathu Rohman, Huda. dkk. 2014. Pengaruh Proses Heat Treatment Anneling Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja NP-42. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 2, No. 3, Tahun 2014.
- H. Surest, Azhary , Dodi Satriawan. 2010. Pembuatan Pulp dari Batang Rosella dengan Soda (Konsentrasi NaOH, Temperatur Pemasakan dan Lama Pemasakan). Jurnal Teknik Kimia, No. 3, Vol. 17 Universitas Brawijaya.
- Indaryati, Sutri . 2009. Pengaruh Penambahan Mg Terhadap Kapasitas Paduan AlFeNi. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 5 November 2009 ISSN 1978-0176.
- I.P. Nur Wahyu, P.Artini, R.N Estu. 2012. Pengaruh penambahan molase pada produksi enzim xilanase oleh fungi *Aspergillus niger* dengan substrat jerami padi. ISSN: 0216-6887,EISSN: 2301-8658, DOI: 10.13057/biotek/c090202.
- J. M. Nanulaitta, Nevada dan Alexander. A. Patty. 2011. Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35C) dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) dengan Pemanfaatan Cangkang Karang sebagai, Jurnal TEKNOLOGI, Volume 8 Nomor 2, 2011; 927 – 935
- Köpf, Arno, at all. 2016. Nanostructured coatings for tooling applications, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 62 (2017) 219–224 .
- Lamouri, Samir, at all. 2016. Control of the γ -alumina to α -alumina phase transformation for an optimized alumina

- densification. boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio x x x. BSECV-70; No. of Pages 8
- Perry, H. Robert. 1997. PerryPerry's Chemical Engineers' Handbook seventh edition. The McGraw-Hill Companies, New York.
- R. Askeland, Donald, dkk. 2010. The Science and Engineering of Materials, sixth edition. Christopher M. Shortt : USA.
- Rakhmalinda,Fika. 2010. Pembuatan Tawas. Jurnal Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Svehla, G., 1979, Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro,diterjemahkan oleh Setiono, L. dan Pudjaatmaka, H.A ., PT KalmanMedia Pustaka, Jakarta.

LAMPIRAN A
Hasil Karakterisasi *X-Ray Diffractometer (XRD)*

a. Tabel uji vickers sampel molasses

No.	Sampel	Nilai Kekerasan(HV)	Nilai Kekerasan Rata-rata(HV)
1.	M11	135,7	144,30
		158,8	
		138,4	
2.	M12	512,1	319,57
		271,9	
		174,7	
3.	M13	338,3	201,23
		141,8	
		123,6	
4.	M21	229,2	287,57
		306,5	
		327	
5.	M22	126,7	147,30
		167,4	
		147,8	
6.	M23	292,5	327,23
		311,6	
		377,6	
7.	M31	244	249,07
		294	
		209,2	

8.	M32	179,4	133,57
		109,8	
		111,5	
9.	M33	207,2	205,47
		161,6	
		247,6	

Tabel uji vickers sampel Tawas

No.	Sampel	Nilai Kekerasan (HV)	Nilai Kekerasan Rata-rata(HV)
1.	T11	172,1	192,57
		183,4	
		222,2	
2.	T12	229,2	218,53
		114,3	
		312,1	
3.	T13	252,5	186,27
		146	
		160,3	
4.	T21	352,3	303,97
		375,4	
		184,2	
5.	T22	153,2	159,80
		178,6	
		147,6	

6.	T23	226	245,67
		206,2	
		304,8	
7.	T31	338,3	349,23
		326,1	
		383,3	
8.	T32	116,5	147,83
		157	
		170	
9.	T33	72,5	75,73
		80,5	
		74,2	
10.	T41	121,2	93,77
		94,7	
		65,4	
11.	T42	132,5	124,13
		109,7	
		130,2	
12.	T43	84,5	117,10
		137,9	
		128,9	

Tabel uji vickers sampel pencampuran tawas dan molasses

No.	Sampel	Nilai Kekerasan (HV)	Nilai Kekerasan Rata-rata(HV)
1.	Al11	158	206,93
		237,8	
		225	
2.	Al12	326,4	245,37
		276,1	
		133,6	
3.	Al13	320,3	329,67
		356,5	
		312,2	
4.	Al21	160,5	374,00
		393,4	
		568,1	
5.	Al22	455,8	278,87
		207,8	
		173	
6.	Al23	579,5	461,30
		550,2	
		254,2	
7.	Al31	585,3	449,90
		416,2	
		348,2	

8.	AI32	404,1	268,90
		216,1	
		186,5	
9.	AI33	221,8	188,03
		173	
		169,3	
10.	AI41	145,1	145,03
		128	
		162	
11.	AI42	501,5	440,53
		530,7	
		289,4	
12.	AI43	396,6	532,60
		562,5	
		638,7	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dikenal dengan nama “Meryda Ucinirvani” merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada 23 Juni 1994 dari pasangan Bapak Muhtadi dan Ibu Tarwati. Penulis berasal dari kota SATRIA yaitu Purwokerto. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Diponegoro 16, SDN 1 Sidabowa, SMPN 8 Purwokerto, dan SMAN 1 Purwokerto. Penulis mengikuti jalur SBMPTN diterima di jurusan Fisika

ITS pada tahun 2013 yang terdaftar dengan NRP 1113 100 085. Dijurusan Fisika ini, penulis menggeluti bidang minat Fisika Material. Sejak SMA hingga masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan Karya Ilmiah dan ikut aktif berpartisipasi dalam kompetisi karya ilmiah. Karya ilmiah yang pernah dituliskan penulis sejak masa SMA yaitu Pengaduk Biot Savart pada LKIR LIPI tahun 2012, Pengaduk Magnetik pada LKIR LIPI tahun 2012. Selain itu, penulis juga aktif sebagai asisten dosen Fisika dasar, asisten laboratorium Fisika dasar, dan asisten Fisika laboratorium Bidang Material. Harapan besar penulis adalah karya ini bisa bermanfaat bagi orang lain dan diri sendiri sebagai sarana pengembangan potensi diri, serta mampu menjadi pribadi yang lebih beruntung yang berlandaskan ajaran Allah SWT. Kritik dan saran dapat dikirim melalui email: ucinirvani@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”